



**ROSÂNGELA FRANCISCA DE PAULA VITOR
MARQUES**

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SOLO E
NA ÁGUA SUPERFICIAL EM TRÊS
MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS**

**LAVRAS - MG
2011**

ROSÂNGELA FRANCISCA DE PAULA VITOR MARQUES

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO SOLO E NA ÁGUA SUPERFICIAL EM TRÊS
MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título Mestre.

Orientador

Dr. Antônio Marciano da Silva

**LAVRAS - MG
2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Marques, Rosângela Francisca de Paula Vitor.

Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais / Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques. – Lavras : UFLA, 2011.

95 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Bibliografia.

1. Contaminação ambiental. 2. Metais pesados em solo. 3. Metais pesados em água. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 628.168

ROSÂNGELA FRANCISCA DE PAULA VITOR MARQUES

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO SOLO E NA ÁGUA SUPERFICIAL EM TRÊS
MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título Mestre.

Aprovada em 05 de Agosto de 2011

Dr. Antônio Marciano da Silva UFLA

Dr. Israel José da Silva UFMG

Dr. Luciano dos Santos Rodrigues UFMG

Dr. Antônio Marciano da Silva

Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, pelas graças concedidas e amor incondicional.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos em sistemas agrícolas, pela oportunidade de realização do trabalho.

À Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, pela concessão de bolsa e recursos disponibilizados.

Às Prefeituras municipais de Campo Belo, Elói Mendes e Santo Antônio do Amparo, pelo espaço cedido para a execução do trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia em especial ao Núcleo Didático Científico de Engenharia de Água e Solo da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e harmoniosa convivência.

Ao Professor Antônio Marciano da Silva, pela orientação deste trabalho, pela confiança e valorização de minhas potencialidades e principalmente pela amizade construída.

Ao Professor Luciano dos Santos Rodrigues pela indispensável coorientação, pela amizade, confiança e paciência.

Aos meus amigos tão pacientes e necessários para realização deste trabalho, Silvio, Alisson, Geovane, Sérgio, Vinícius e Rafael pela ajuda indispensável.

A todos os amigos da Hidráulica pela convivência amorosa e amizades cultivadas e de forma especial à Lidiane, Camila Alvarenga, Camila Franco, Milena, Léo e Leandro.

Aos meus irmãos, Vânia e Luiz Carlos e a minha preciosa mãe Maria Aparecida, por estarem sempre ao meu lado. A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

RESUMO

O estudo foi realizado nas áreas do aterro sanitário de Campo Belo, do aterro controlado de Santo Antônio do Amparo e do lixão encerrado de Elói Mendes, situados no Sul de Minas Gerais, visando avaliar os impactos ambientais dos diferentes tipos de disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em condições de campo, sobre a água superficial e o solo. Para a avaliação dos impactos em águas superficiais foi realizado um monitoramento, via coleta de amostras de água, por um período de nove meses em três pontos dos cursos d'água, sendo um à montante, outro após um ponto de drenagem de águas proveniente das áreas de disposição e outro, à jusante da área, nas quais realizaram-se análises físico-químicas, exames microbiológicos, para posterior cálculo do índice de qualidade de água (IQA) e análise de substâncias inorgânicas e metais pesados, os quais foram comparados com o valor de referência da DN COPAM CERH 01/2008. Para os impactos ambientais sobre o solo foram realizados testes de permeabilidade "*in situ*" dentro das áreas de disposição, e, para a análise de metais pesados foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 20 cm à montante, na área de disposição e a jusante e na camada de 20 a 40 cm à montante e a jusante da área, para posterior comparação com valores orientadores para solos (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 2005). Em relação à água, avalia-se que neste estudo os valores do indicador IQA não permitiram inferir sobre o impacto das áreas de disposição, embora no aterro sanitário de Campo Belo, alguns parâmetros, como, coliforme fecal tenha sido afetado pelo fator disposição de resíduos. Em relação à contaminação por substâncias inorgânicas e metais pesados em água, pode se inferir que o curso d'água sofreu influência do aterro sanitário para os parâmetros de ferro, alumínio e mercúrio, sendo também afetada a sua jusante por manganês devido aos efluentes oriundos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do aterro. Em relação ao solo, detectou-se elevada concentração de metais pesados como cobre com valores acima da prevenção, níquel e principalmente cromo, os quais encontraram-se acima de valores de intervenção, sobretudo para a camada mais profunda de 20 a 40 cm observados no aterro controlado de Santo Antônio do Amparo, o qual está associado a permeabilidade mais alta, que torna o meio mais vulnerável à contaminação. A constatação de contaminação do solo e água nestas áreas, sinaliza a necessidade de promover ações de mitigação, bem como, a continuação do monitoramento a fim de avaliar a eficácia das ações implementadas.

Palavras-chave: Contaminação ambiental. Metais pesados em solo. Metais pesados em água.

ABSTRACT

The study was conducted in the landfill area of Campo Belo, the landfilling of Santo Antonio do Amparo and the dump closed from Elói Mendes, located in southern Minas Gerais, to evaluate the environmental impacts of different types of disposal Municipal Solid Waste under field conditions on the surface water and soil. For the assessment of impacts on surface water monitoring was conducted via collecting water samples, for a period of nine months at three points of watercourses, one upstream, one after the other point of water drainage from the disposal areas and another to the downstream area, which were carried out physical-chemical, microbiological, for later calculation of water quality index (AQI) and analysis of inorganic substances and heavy metals, which were compared with the reference value of DN COPAM CERH 01/2008. For the environmental impacts on soil permeability tests were performed “*in situ*” within the disposal areas, and analysis of heavy metals samples were collected in layers 0 to 20 cm upstream, in the disposal area and downstream in the layer from 20 to 40 cm upstream and downstream of the area, for later comparison with guiding values for soils (CETESB, 2005). Regarding water, it is evaluated in this study the AQI indicator values did not allow inferences about the impact of disposal areas, although the landfill of Campo Belo, some parameters, such as fecal coliform has been affected by a factor of waste disposal . In regard to contamination by heavy metals and inorganic substances in water, can be inferred that the watercourse was influenced by the landfill for the parameters of iron aluminum and mercury, being also affected by manganese to its downstream due to the Sewage Treatment Plant (STP) effluent from the landfill. In relation to the ground was detected high concentrations of heavy metals such as copper values exceeding prevention, mainly nickel and chromium, which were found above levels of intervention, especially for the deeper layer from 20 to 40 cm observed in landfill controlled of Santo Antônio do Amparo, which is associated with higher permeability, which makes the environment more vulnerable to contamination. The finding of contamination of soil and water in these areas, it signals the need to promote mitigation actions, as well as continued monitoring to assess the effectiveness of actions implemented.

Keywords: Environmental contamination. Heavy metals in soil. Heavy metals in water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Impactos ambientais e sociais da disposição de resíduos sólidos urbanos em vazadouro a céu aberto (lixão)	19
Figura 2	Esquema de um aterro controlado, com destaque para as medidas mínimas de redução dos impactos ambientais.....	20
Figura 3	Esquema de um aterro sanitário, com detalhamento de suas estruturas.....	22
Figura 4	Croqui da área de disposição de Santo Antônio do Amparo	45
Figura 5	Croqui da área de disposição Campo Belo	47
Figura 6	Coleta de água no ponto 01- montante do lixão do município de Elói Mendes	48
Figura 7	Detalhe da coleta de amostras de solo indeformado para determinação da condutividade hidráulica.....	54
Figura 8	Esquema do processo de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado	55
Figura 9	Presença de gado próximo ao ponto de coleta e,	62
Figura 10	Vestígios de gado no curso d'água	63
Figura 11	Coleta de água em Campo Belo.....	64
Figura 12	Presença de gado no Ponto de coleta 4 – Ribeirão do Amparo	65
Gráfico 1	Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Ribeirão Mutuca.....	62
Gráfico 2	Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Córrego dos Varoes – Campo Belo.....	64
Gráfico 3	Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Ribeirão do Amparo.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Destino Final dos Resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos no Brasil 1989/2008	17
Tabela 2	Valores dos pesos de cada indicador componente do IQA	50
Tabela 3	Classificação do nível de qualidade da água conforme valores de IQA.....	51
Tabela 4	Valores referenciais para a concentração de metais pesado em solos.....	53
Tabela 5	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Aterro Controlado de Santo Antonio do Amparo – MG – 2011.....	57
Tabela 6	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Aterro Controlado de Santo Antonio do Amparo – MG – 2011.....	58
Tabela 7	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Aterro Sanitário de Campo Belo – MG – 2011.....	58
Tabela 8	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Aterro Sanitário de Campo Belo – MG – 2011.....	58
Tabela 9	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Lixão de Elói Mendes - MG – 2011	59
Tabela 10	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Lixão de Elói Mendes - MG – 2011	59

Tabela 11	Resultados dos testes T aplicados às matrizes montante, área de disposição e jusante	60
Tabela 12	Valores médios do Índice de Qualidade de Água durante o período de monitoramento e classificação segundo IGAM (2004).....	66
Tabela 13	Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes	67
Tabela 14	Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Córrego dos Varões em Campo Belo – Ponto 1 (montante da ADRSU).....	68
Tabela 15	Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo – Ponto 1 (montante da ADRSU).....	68
Tabela 16	Valores Máximos permitidos pela DN COPAM CERH 01/2008 para metais pesados e substâncias inorgânica	73
Tabela 17	Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais para o Córrego dos Varões em Campo Belo	74
Tabela 18	Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais para o Ribeirão do Amparo em Elói Mendes.....	75
Tabela 19	Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais no município de Santo Antônio do Amparo.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Resíduos sólidos.....	14
2.2	Disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no estado de Minas Gerais.....	16
2.3	Formas de disposição de resíduos.....	18
2.4	Chorume e líquidos percolados.....	22
2.5	Principais danos e impactos ambientais causados pela disposição de resíduos sólidos.....	24
2.5.1	Poluição do solo.....	25
2.5.2	Poluição das águas.....	26
2.5.3	Poluição do ar.....	26
2.6	Áreas degradadas: aspectos gerais do solo.....	26
2.7	Indicadores de qualidade de água.....	29
2.7.1	pH.....	30
2.7.2	Fósforo.....	30
2.7.3	Nitrogênio.....	30
2.7.4	Sólidos presentes na água.....	31
2.7.5	Oxigênio dissolvido (OD).....	32
2.7.6	Demanda química de oxigênio (DQO).....	33
2.7.7	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	33
2.7.8	Cloretos.....	34
2.7.9	Coliformes.....	34
2.8	Influência de metais pesados.....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1	Descrição das áreas de estudos.....	42

3.1.1	Lixão – Município de Elói Mendes	42
3.1.1.1	Características do município.....	42
3.1.1.2	Identificação do depósito de lixo	43
3.1.2	Aterro controlado – Município de Santo Antônio do Amparo	43
3.1.2.1	Características do município.....	43
3.1.2.2	Identificação do depósito de lixo	44
3.1.3	Aterro sanitário – Município de Campo Belo.....	45
3.1.3.1	Características do município.....	45
3.1.3.2	Identificação do depósito de lixo	46
3.2	Coletas, análises e procedimentos para caracterização de amostras em águas superficiais.....	47
3.3	Análise estatística	51
3.4	Coletas, análises e procedimentos para caracterização de amostras em solo.....	52
3.4.1	Caracterização química – metais pesados.....	52
3.4.2	Caracterização da condutividade hidráulica	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1	Condutividade hidráulica	56
4.2	Caracterização química do solo – metais pesados	57
4.3	Índice de qualidade de água.....	61
4.5	Análise química dos metais pesados e substâncias inorgânicas em água.....	72
5	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	ANEXO	85

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana, se fez acompanhar pelo aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, bem como, pela necessidade de locais específicos, afastados dos núcleos populacionais e que atendam requisitos para reduzir o potencial da contaminação dos solos, do ar e das águas, superficiais e subterrâneas, alterando suas características físicas, químicas e biológicas e que coloca em risco a saúde humana.

O crescimento acentuado da geração de resíduos sólidos e sua concentração espacial devido à urbanização diminuem as chances de assimilação dos resíduos pelo meio ambiente. A poluição destes compartimentos ambientais pode atingir níveis de contaminação, afetando o meio antrópico (homem) e biológico (fauna e flora).

As características físicas dos resíduos podem ser associadas a vários impactos negativos no meio físico como alteração da paisagem pela poluição visual, a liberação de maus odores ou substâncias químicas voláteis pela decomposição dos resíduos. Ainda, materiais particulados podem ser dispersos pela ação do vento ou serem liberados juntos com gases tóxicos quando os resíduos são queimados, por exemplo, para facilitar a catação de materiais recicláveis.

Outro problema comum em áreas urbanas, carentes e com topografia acidentada, é o lançamento dos resíduos em encostas aumentando o risco de deslizamentos do solo destas áreas. Por sua vez, as características químicas são associadas aos impactos, como poluição ou contaminação química por substâncias perigosas presentes nos resíduos, carreadas pela infiltração de lixiviado no solo e nos aquíferos subterrâneos ou quando este atinge, por escoamento superficial, corpos d'água (CASTILHO JÚNIOR, 2006).

Em Minas Gerais a disposição adequadamente ambiental dos resíduos sólidos urbanos como forma de diminuição dos impactos na disposição destes vêm aumentando ano a ano. Dados do ano de 2010 comprovam uma redução significativa da disposição de resíduos em lixões. Apenas 37% em 2011 quando comparado a 2001 em que o percentual era de 96%. Porém estas áreas necessitam de encerramento adequado para a mitigação de impactos ambientais.

Pelas consequências citadas, as áreas de disposição do lixo, quando desativadas, encontram-se, invariavelmente, degradadas e necessitam da elaboração de um plano de recuperação, além do monitoramento ao longo dos anos para se avaliar a sua evolução (BELI, 2005).

O número crescente de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos (ADRSU) desativados, em desativação, ou em processo de remediação, aumenta a preocupação quanto ao uso futuro dessas áreas e sua recuperação para benefício da população, a qual deve ser compensada pelos prejuízos sofridos durante o período de operação do aterro (MAGALHÃES, 2005).

Portanto, o trabalho realizado vem respaldado pela importância de se conhecer o impacto ambiental dos diferentes tipos de disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como lixão, aterro controlado e aterro sanitário em condições de campo, sobre a contaminação de águas superficiais e do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos sólidos

Segundo Cherubini (2008), os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's), popularmente chamados de lixo urbano, são resultantes da atividade doméstica e comercial das povoações e, apresentam grande diversidade e complexidade.

As suas características físicas químicas e biológicas variam de acordo com sua fonte ou atividade geradora, nas quais, vários fatores como sociais econômicos, geográficos, educacionais, culturais, tecnológicos e legais, afetam o processo de geração tanto em quantidade como em composição qualitativa (ZANTA et al., 2006).

A definição de lixo urbano, segundo Lima (2004), é difícil de ser feita, devido à sua origem e formação estarem relacionadas a vários fatores. Assim, “é comum definir como lixo todo e qualquer resíduo que resulte das atividades diárias do homem na sociedade”

A norma NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004), que trata de classificação dos resíduos sólidos, também traz uma definição:

Resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta última definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

São muitos os fatores que influenciam a origem e formação dos resíduos sólidos no meio urbano (CHERUBINI, 2008), como:

- a) variações sazonais;
- b) condições climáticas;
- c) área relativa de produção;
- d) número de habitantes do local;
- e) nível educacional;
- f) poder aquisitivo;
- g) hábitos e costumes da população;
- h) segregação na origem;
- i) sistematização na origem;
- j) tipo de equipamento de coleta;
- k) leis e regulamentações específicas.

Para Castilho Júnior (2003), dentre os vários tipos de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) gerados, são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais, e os resíduos da limpeza pública.

A composição dos RSU domésticos é bastante diversificada, compreendendo desde restos de alimentos, papéis, plásticos, metais e vidro, até componentes considerados perigosos por serem prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública.

O lixo urbano contém vários produtos com características de inflamabilidade, oxidação ou toxicidade e contém metais pesados como cromo, cobre, chumbo, mercúrio, zinco e outras substâncias que podem contaminar o meio ambiente. Pode-se dizer que o lixo produzido pelas atividades humanas é

diretamente proporcional ao aumento da população e ao crescimento industrial. Relacionado a isso está o aumento da poluição do solo, das águas, do ar e a queda da qualidade de vida do ser humano (JARDIM, 1995).

A responsabilidade direta ou indiretamente da geração dos resíduos sólidos é disposta na Lei 12305/2010 de Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

2.2 Disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no estado de Minas Gerais

O lixo doméstico no Brasil é composto de cerca de 50% de matéria orgânica.

Esse percentual varia de acordo com os seguintes fatores:

- a) climáticos – as chuvas aumentam o teor de umidade. No outono há mais folhas e no verão, mais embalagens de bebida;
- b) épocas especiais – os feriados aumentam o teor de embalagens;
- c) demográficos – quanto maior a população urbana, maior a produção *per capita*;
- d) socioeconômicos – quanto maior o nível cultural, educacional e aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica. Quando acontecem campanhas ambientais, há uma redução de materiais não biodegradáveis como plásticos (SANTOS, 2008).

No Brasil são gerados mais 300 g.hab⁻¹dia de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos. Portanto, a média nacional de produção de

RSU é de 900 g.hab⁻¹ dia. Porém, há variação de acordo com o tamanho da cidade, podendo chegar até a 1300 g.hab⁻¹ dia em cidades como Rio de Janeiro (PEÑIDO MONTEIRO et al.,2001).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2008) os vazadouros a céu aberto, conhecidos como “lixões”, ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros, mas esse quadro teve uma mudança significativa nos últimos 20 anos. Em 1989, eles representavam o destino final de resíduos sólidos em 88,2% dos municípios. As regiões Nordeste (89,3%) e Norte (85,5%) registraram as maiores proporções de municípios que destinavam seus resíduos aos lixões, enquanto as regiões Sul (15,8%) e Sudeste (18,7%) apresentaram os menores percentuais. Paralelamente, houve uma expansão no destino dos resíduos para os aterros sanitários, solução mais adequada, que passou de 17,3% dos municípios, em 2000, para 27,7%, em 2008 (Tabela 1).

Tabela 1 Destino Final dos Resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos no Brasil 1989/2008

Ano	Destino final dos resíduos, por unidades de destino (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008) e Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2008)

Em todo o país, aproximadamente 26,8% dos municípios que possuíam serviço de manejo de resíduos sólidos tinham o conhecimento da presença de catadores nas unidades de disposição final de resíduos sólidos. A maior quantidade estava nas regiões Centro-Oeste e Nordeste: 46% e 43%, respectivamente. Destacavam-se os municípios do Mato Grosso do Sul e de

Goiás (57,7% e 52,8% respectivamente, conheciam a existência de catadores) na região Nordeste, os municípios de Pernambuco (67%), Alagoas (64%) e Ceará (60%).

Dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja, 73,1% têm população até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados. Tomando-se, entretanto, como referência, a quantidade de lixo por eles gerado, em relação ao total da produção brasileira, a situação é menos grave, pois em conjunto coletam somente 12,8 % do total brasileiro (20.658 t/dia).

Isto é menos do que o gerado pelas 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de 1 milhão de habitantes. Só estas coletam 31,9 % (51.635 t/dia) de todo o lixo urbano brasileiro, e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8 % (832 t/dia) é destinado a lixões, o restante sendo depositado em aterros controlados ou sanitários.

Em Minas Gerais a destinação adequadamente ambiental dos resíduos sólidos urbanos como forma de diminuição dos impactos na disposição de resíduos vêm aumentando ano a ano e dados do ano de 2010 comprovam uma redução significativa da disposição de resíduos em lixões, apenas 37% em contrapartida ao ano de 2001 em que o percentual era de 96%.

2.3 Formas de disposição de resíduos

A deposição dos resíduos sólidos diretamente no solo requer um estudo das condições do ambiente, seja na área hidrológica, geológica, ecológica, cultural, topográfica, econômica e tantas outras, para que sejam respeitados os aspectos ambientais, pois, do contrário, as consequências serão a degradação dos recursos naturais, podendo-se ainda ser produzidos líquidos de percolação, dependendo do resíduo depositado no solo, que irão poluir as águas superficiais

ou subterrâneas. A produção de gases, o aspecto estético (poluição visual) e os maus odores.

De um modo geral, as formas de disposição do lixo urbano são o aterro sanitário, que representa a forma mais adequada, o aterro controlado, que na realidade, minimiza os impactos ambientais, e os lixões caracterizados pela simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Lixão é o mesmo que descarga a “céu aberto”, sendo considerado inadequado e ilegal segundo a legislação brasileira (Figura 1). Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, entre outros), geração de odores desagradáveis e, principalmente, poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume – líquido de coloração escura, malcheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido a partir da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos.



Figura 1 Impactos ambientais e sociais da disposição de resíduos sólidos urbanos em vazadouro a céu aberto (lixão)

Fonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM (2008)

De acordo com a FEAM (2008), o aterro controlado é uma técnica utilizada para confinar os resíduos sólidos urbanos sem poluir o ambiente externo; porém sem a implementação de elementos de proteção ambiental.

Segundo Carvalho (2001), esta forma de disposição utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho, diminuindo dessa forma os impactos ambientais.

Com essa técnica de disposição produz-se, em geral, poluição localizada (Figura 2), não havendo impermeabilização de base (comprometendo a qualidade do solo e das águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de percolato (chorume mais água de infiltração) ou de extração e queima controlada dos gases gerados.

Esse método é preferível ao lixão, mas apresenta qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.



Figura 2 Esquema de um aterro controlado, com destaque para as medidas mínimas de redução dos impactos ambientais
Fonte: FEAM (2008)

Já o aterro sanitário de acordo com Lanza (2009) é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que visa minimizar os danos à saúde pública e os impactos sobre o meio ambiente. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área e reduzi-los ao menor volume possível, recobrando-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores, se necessário (Figura 3).

Este método de disposição final dos resíduos deve contar com todos os elementos de proteção ambiental:

- a) sistema de impermeabilização de base e laterais;
- b) sistema de recobrimento diário dos resíduos;
- c) sistema de cobertura final das plataformas;
- d) sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados;
- e) sistema de coleta e tratamentos dos gases;
- f) sistema de drenagem superficial;
- g) sistema de tratamento de líquidos percolados;
- h) sistema de monitoramento.

Embora consistindo em uma técnica simples, os aterros sanitários exigem cuidados especiais, e procedimentos específicos de operação e monitoramento. A avaliação do impacto ambiental local e sobre a área de influência nas fases de implantação, operação e monitoramento devem ser sempre considerados na elaboração dos estudos técnicos.

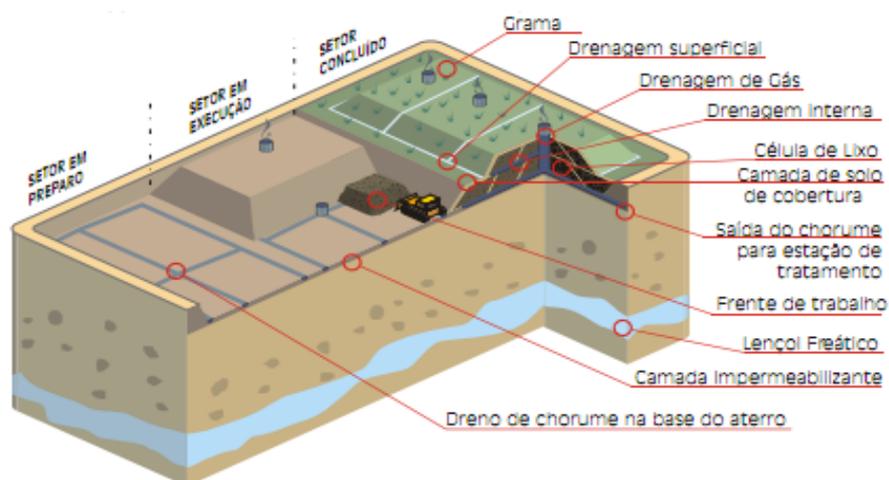


Figura 3 Esquema de um aterro sanitário, com detalhamento de suas estruturas
 Fonte: Companhia de desenvolvimento urbano do estado da Bahia (CONDER)

2.4 Chorume e líquidos percolados

O chorume é um líquido de cor escura, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que contém matéria sólida dissolvida e em suspensão, certas substâncias químicas dependendo do tipo de resíduos depositados e produtos de resíduos microbianos. Apresenta mau cheiro e elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio) (CARVALHO, 2001).

A composição do chorume é importante na determinação dos seus efeitos potenciais sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os contaminantes carreados pelo chorume são dependentes da composição do resíduo sólido e das atividades químicas, físicas e biológicas que ocorrem, simultaneamente, dentro do depósito. O chorume originalmente é formado por enzimas expelidas pelos microrganismos, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos. As enzimas agregam-se aos líquidos

provenientes da umidade natural dos resíduos (a qual tende a aumentar nos períodos chuvosos) (LIMA, 2003).

Oliveira e Pasqual (2001) afirmam que do ponto de vista de qualidade, o chorume (lixiviado ou percolado) apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas (metais pesados).

A quantidade e a qualidade do líquido lixiviado produzido em um aterro dependem de vários fatores como: condições meteorológicas do local (umidade, precipitação, evaporação, temperatura e ventos); geologia e geomorfologia (escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea, grau de compactação e capacidade do solo em reter umidade); condições de operação do aterro (conformação e cobertura das células, grau de compactação dos resíduos, tipo de equipamento, recirculação do percolado); idade e natureza dos resíduos sólidos (tipo, umidade, nível de matéria orgânica, características); topografia (área e perfil do aterro); qualidade e quantidade de recicláveis e hábitos da população. A composição do chorume geralmente muda de um aterro para outro em função da qualidade e características dos RSU (TORRES et al., 1997).

A infiltração da precipitação por meio do solo é um processo natural, e faz parte do ciclo de recarga do lençol freático. A percolação é a infiltração de água por meio dos resíduos sólidos, carreando com ela, as substâncias solúveis suspensas no mesmo; e a lixiviação é a operação que separa certas substâncias, contidas nos resíduos sólidos, por meio de lavagem ou de percolação (OLIVEIRA; PASQUAL, 2001).

A presença do chorume é de longe, a mais significativa ameaça para as águas subterrâneas, uma vez que ele pode alcançar as camadas mais profundas dos aterros. O chorume também pode ter um fluxo de escoamento lateral para um determinado ponto onde é descarregado para a superfície, ou move-se através da base do aterro em direção a subsuperfície. Dependendo da natureza

destas formações e da ausência do sistema de coleta do chorume, este tem sido associado diretamente à contaminação dos aquíferos abaixo da linha do aterro, tornando-se alvo de extensas investigações, desde 1930 (WALLS, 1975; ZANONI, 1972).

Os resíduos sólidos inicialmente agem como uma esponja e simplesmente absorvem a água, entretanto, o material atinge um teor de água conhecido como capacidade de retenção. Qualquer acréscimo de água resulta na percolação de igual quantidade da massa. Alguma percolação poderá formar-se antes que a capacidade de retenção tenha sido atingida, porque os resíduos, não sendo homogêneos, apresentam canais, e alguns destes, também não absorvem a água prontamente. A absorção do lixiviado irá variar em função do subsolo.

Quando aumenta o nível de água no local do aterro, surgem dois efeitos indesejáveis: primeiro, considerando a Lei de Darcy, o aumento da pressão do percolado, irá aumentar a taxa de vazamento do líquido percolado no local, agravando o risco de possível contaminação da água subterrânea; segundo, é que, em tais circunstâncias, o nível de água contaminada, pode alcançar o topo da escavação, com a conseqüente dispersão lateral e possível ameaça às fontes da superfície (SCHALCH, 1984).

Os agentes poluidores que compõe o chorume dos aterros sanitários de resíduos urbanos podem ser classificados em quatro categorias: cátions e ânions inorgânicos; metais pesados; matéria orgânica; e compostos orgânicos específicos (ex: hidrocarbonetos e fenóis) (CHRISTENSEN et al., 1986 citado por LIMA 2003).

2.5 Principais danos e impactos ambientais causados pela disposição de resíduos sólidos

Fogliatti, Filippo e Goudard (2004) definem impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio

ambiente, provocada direta ou indiretamente por atividades humanas que podem afetar a saúde, a segurança e/ou a qualidade dos recursos naturais. Quando os impactos são negativos, podem conduzir à degradação ambiental.

A destinação dos resíduos sólidos compreende um problema atual que afeta todas as cidades, principalmente nas grandes metrópoles (ALBERTE; CARNEIRO; KAN, 2005).

De acordo com Lanza (2009), embora o chorume e os gases sejam os maiores problemas causados pela decomposição do lixo, outros problemas associados com a sua disposição podem ser assim compreendidos: poluição do solo e das águas superficiais próximas; poluição de águas subterrânea; poluição visual; presença de odores desagradáveis; presença de vetores, causando doenças diretamente a catadores; pessoal que trabalha no lixão; população do entorno e, indiretamente a população; presença de catadores precariamente organizados, inclusive crianças; presença de gases de efeitos: estufa e explosivo, dioxinas e furanos devido à queima, intensa degradação da paisagem, riscos de incêndio e a desvalorização imobiliária no entorno.

Em termos ambientais, os lixões agravam a poluição do ar, do solo e das águas, além de provocar poluição visual. Nos casos de disposição de pontos de lixo nas encostas é possível ainda ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, provocando deslizamentos.

Segundo Cherubini (2008), a disposição inadequada dos RSU está diretamente relacionada com os problemas causados por estes resíduos no solo, nas águas e no ar:

2.5.1 Poluição do solo

Quando dispostos inadequadamente, os RSU podem poluir o solo, alterando as características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num

problema de ordem estética e, mais ainda, numa séria ameaça à saúde pública. Por conter substâncias de alto teor energético (metais pesados) e, por oferecer disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo, os resíduos se tornam criadouro de vetores de doenças, como roedores, moscas, bactérias e vírus.

2.5.2 Poluição das águas

Há locais onde são feitas a disposição incorreta de resíduos, que são lançados diretamente em corpos hídricos, ou que os lixiviados dessa massa de resíduos, disposta no solo, contaminam os cursos d'água.

Os principais efeitos da presença dos RSU em corpos hídricos são: elevação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), redução dos níveis de oxigênio dissolvido, formação de correntes ácidas, maior carga de sedimentos, elevada presença de coliformes, aumento da turbidez, intoxicação de organismos presentes naquele ecossistema, incluindo o homem, quando este utiliza água contaminada para consumo.

2.5.3 Poluição do ar

No processo de decomposição dos RSU ocorre a geração de gases como metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), e dióxido de carbono (CO₂). A presença desses gases na atmosfera contribui para fenômenos como a chuva ácida e o efeito estufa, além de serem tóxicos para diversos organismos. Esses gases são liberados diretamente na atmosfera, quando não há tratamento ou disposição adequada dos resíduos.

2.6 Áreas degradadas: aspectos gerais do solo

Segundo Oliveira (2005), degradar o solo significa alterar suas propriedades físicas (estrutura, porosidade, compactidade), químicas (pH etc.) e biológicas (microrganismos) (SÁNCHEZ, 1998). São de vital importância estudos ligados à recuperação do solo, pois é ele que sustenta os ecossistemas terrestres e possui fragilidade física, química e biológica, com baixa capacidade de formação e regeneração (pedogênese), podendo levar milênios para se formar (MASCHIO et al., 1992).

Segundo a NBR 10703 (ABNT, 1989), degradação do solo é a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento quanto os potenciais”.

Outros autores citam a degradação do solo como um declínio da qualidade causada pelo mau uso humano, ocasionando, portanto, dificuldade de crescimento e adaptação de plantas (LAL; STUART, 1990 apud REINERT, 1998).

Para Sánchez (1998) essa degradação pode estar ligada, aos mais diversos fatores, tais como, mineração, urbanização, poluição atmosférica, agricultura, pecuária, silvicultura, obras civis, vazamentos de tanques e outras formas de armazenamento de líquidos, deposição de resíduos sólidos industriais e domésticos.

Segundo Reinert (1998 citado por MAGALHÃES, 2005), há três principais tipos de degradação do solo, sendo elas a degradação física, que se refere às condições ligadas à forma e estabilidade da estrutura do solo, a degradação biológica, que está relacionada com a redução da matéria orgânica, atividade e diversidade de organismos, e a degradação química, que é reflexo da retirada e saída de nutrientes por acúmulo de elementos tóxicos e/ou desbalanceados no solo.

De acordo com Magalhães (2005), a reabilitação de áreas degradadas se fundamenta na obrigação de reparar danos causados ao meio ambiente. Esse

dano, inclusive em atividades exigidas por lei, como por exemplo, a disposição final de RSU, visa, tanto quanto, seja possível, repor a área degradada a sua condição anterior.

Para os ADRSU, há exigências legais onde o projeto do sistema de cobertura final deve ser elaborado de forma a minimizar a infiltração de água para o interior do aterro, demandar pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, suportar recalques/assentamento e possuir coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro. A vegetação deve ser implantada, uma vez que pode melhorar as condições ambientais da área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, formação de poeira e transporte de odores (ABNT, 1987, 1997).

Dentro do objetivo de recuperar um solo, o seu processo de manejo deve ser elaborado de tal forma a criar condições para que uma área perturbada ou mesmo natural, seja adequada aos seus usos. Para determinar a melhor solução técnica é preciso considerar uma série de fatores que podem influenciar diretamente e indiretamente o meio, ou seja, sendo um processo complexo e específico a cada situação, devendo ser considerados diversos aspectos. No caso dos ADRSU, esta recuperação demanda um trabalho intenso, devido à grande variabilidade do material existente na cobertura final, uma vez que é constituído de solo, resíduos de construção civil e, muitas vezes, do próprio RSU, contribuindo então para dificultar a revegetação da área em questão (MAGALHÃES, 2005).

Em áreas destinadas ao descarte de resíduos sólidos urbanos (RSU) deve-se, antes de iniciar a sua deposição, remover em separado o solo e as suas camadas geográficas.

Quando a capacidade máxima de aterramento da área é atingida e o processo de restauração iniciado, aqueles materiais deveriam ser repostos na sequência original, minimizando a infiltração de água, além de proporcionar um

adequado desenvolvimento da vegetação, reduzindo assim os efeitos dos processos erosivos. Contudo, na prática, isto nem sempre é possível de ser executado, fato este que aliado à instabilidade dos RSU aterrados, pode impedir uma restauração satisfatória daquele ambiente (ROSA et al., 2007).

Desta maneira, o monitoramento e avaliação das alterações em características de solos construídos sobre aterros de RSU, bem como o seu potencial de uso, podem possibilitar a obtenção de parâmetros que permitam estimar o impacto ambiental desta atividade e assim propor eventuais ajustes.

Num programa de recuperação de ambientes degradados, vários tipos de revegetação podem ser planejados, dependendo, basicamente, das potencialidades locais e dos objetivos a serem atingidos, como exemplo, o uso de espécies vegetais associadas a microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Para a revegetação de áreas com subsolo exposto e no caso dos nutrientes cuja principal fonte é a matéria orgânica do solo, o que se busca é adicionar nutrientes suficientes e de tal forma que atenda ao crescimento inicial das plantas e que a própria biomassa ao ser reciclada, passe a suprir as necessidades do sistema (SIQUEIRA; FRANCO, 1998).

2.7 Indicadores de qualidade de água

A qualidade da água pode ser representada por meio de diversos indicadores que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Esses indicadores podem ser de utilização geral, tanto para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores. A seguir apresenta-se a descrição de alguns dos principais indicadores para interpretação dos resultados de análise de água de acordo com Carvalho, (2001).

2.7.1 pH

Representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de variação do pH é de 0 a 14, sendo que valores menores que 7 indicam condições de acidez, igual a 7 condição neutra, e, maior que 7 condição de alcalinidade.

2.7.2 Fósforo

O fósforo é considerado um dos elementos essenciais para o crescimento de protistas, plantas e de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (eutrofização). Sua presença como nutriente é muito importante para o crescimento e reprodução dos microrganismos que promovem a degradação da matéria orgânica. O fósforo se encontra nesses efluentes sob a forma de compostos orgânicos, principalmente proteínas e fazendo parte dos compostos minerais principalmente nos polifosfatos e ortofosfatos (GADOTTI, 1997).

2.7.3 Nitrogênio

Segundo Gadotti (1997), o nitrogênio pode estar presente nos resíduos orgânicos sob forma orgânica, amoniacal, nítrica ou nitrosa. A determinação do nitrogênio total é feita quando se quantifica os teores de N nas quatro formas:

$$N_{\text{total}} = N_{\text{orgânico}} + N_{\text{amoniacal}} + N_{\text{nitritos}} + N_{\text{nitratos}}$$

Nitrificação é o processo de oxidação da amônia a nitrato, realizadas por bactérias aeróbias quimiossintetizantes que por meio de sua síntese celular

liberam energia. A amônia ou nitrogênio amoniacal pode ser um constituinte natural de águas superficiais ou subterrâneas, proveniente da decomposição da matéria orgânica.

A presença de nitratos indica que a matéria orgânica foi totalmente oxidada. A ocorrência natural de nitratos nos mananciais subterrâneos é geralmente baixa e encontra-se relacionada à ocorrência de chuva ou à decomposição aeróbia de material orgânico na água. Os teores naturais encontrados nas águas subterrâneas do Estado de São Paulo não ultrapassam 2,5 mg/L. A partir desse teor, pode-se supor início de contaminação. A presença de nitritos indica uma possível contaminação nas proximidades do ponto de coleta.

2.7.4 Sólidos presentes na água

Segundo Von Sperling (1996), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Por esta razão os sólidos são analisados separadamente, antes de se apresentar os diversos parâmetros de qualidade de água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com as suas características físicas, seu tamanho e estado (sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos), as suas características químicas (sólidos fixos e voláteis).

a) Classificação por tamanho

A divisão por tamanho é, sobretudo uma divisão prática. Por convenção, diz-se que as partículas de menores dimensões, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado correspondem aos sólidos dissolvidos, enquanto que as de maiores dimensões, retidas pelo filtro são consideradas sólidos em suspensão. A rigor, os termos filtráveis e sólidos não filtráveis são mais adequados. Numa faixa intermediária situam-se os sólidos coloidais de

grande importância no tratamento de água, mas de difícil identificação pelos métodos simplificados de filtração de papel. Nos resultados das análises de água, a maior parte dos sólidos coloidais entra como sólidos dissolvidos e o restante como sólidos em suspensão. De maneira geral são considerados como sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a 10^{-3} μm , como sólidos aqueles com diâmetro entre 10^{-3} a 10^0 μm e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 10^0 μm .

b) Classificação pelas características químicas

Ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada (550°C), a fração orgânica é volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica. Os sólidos voláteis representam, portanto uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral.

2.7.5 Oxigênio dissolvido (OD)

De acordo com Von Sperling (1996), o oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração do meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a causar prejuízos ambientais. Caso o oxigênio seja totalmente consumido tem-se as condições anaeróbias (ausência de oxigênio), com geração de maus odores. O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

A solubilidade do OD varia com altitude e temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20° C, a concentração saturação é igual a 9,2 mg/L.

Quando há valores de OD superiores à saturação é indicativo da presença de algas (fotossíntese), já quando os valores são bem inferiores à saturação, são indicativos da presença de matéria orgânica (provavelmente esgotos). Com OD em torno de 4,5 mg/l morrem os peixes mais exigentes; com OD igual a 2 mg/l todos peixes estão mortos; com OD igual a 0 mg/l tem-se condições de anaerobiose.

2.7.6 Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO está relacionada com a matéria orgânica e seu potencial poluidor. É uma medida da quantidade de oxigênio consumido pela oxidação química de substâncias presentes nas águas.

O teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica obtida por meio de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente.

2.7.7 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO, determinada após o decurso de 5 dias de manutenção da amostra de água sob temperatura de 20 °C, reflete a quantidade de oxigênio necessária para degradar a matéria biodegradável presente, transformando-a em formas químicas simples e inertes. Esse trabalho é realizado por microrganismos aeróbios (consumidores de oxigênio dissolvido).

Esse ensaio reflete de forma muito satisfatória a intensidade de despejos de cargas poluidoras relacionadas a efluentes urbanos e rurais. A presença de um

elevado teor de matéria orgânica pode levar ao consumo de todo o OD da água, provocando mortandade de peixes e outros organismos. A água com DBO elevada pode apresentar odor e sabor desagradáveis (CETESB, 1998).

2.7.8 Cloretos

Cloreto é um dos ânions mais comuns em águas naturais, nos esgotos e despejos industriais. O registro contínuo do teor de cloretos das amostras de água dos poços fornece informação da ocorrência ou não da contaminação do aquífero. A água que contém menos de 150 mg/L de cloretos é satisfatória para muitos fins.

Uma concentração de mais de 250 mg/L torna-se, em geral, objetável para o serviço de abastecimento público. Contendo mais de 350 mg/L é contraindicada para a maior parte das irrigações e usos industriais. Com 500 mg/L, o sabor da água torna-se desagradável (CETESB, 1998).

2.7.9 Coliformes

De acordo com Von Sperling (1995), as bactérias do grupo coliforme constituem o indicador de contaminação fecal mais comum, sendo aplicada como parâmetro bacteriológico básico na caracterização e na avaliação da qualidade das águas em geral.

Os coliformes totais constituem-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de água e de solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Tal grupo foi bastante usado no passado como indicador, e continua a ser usado em algumas áreas, embora as dificuldades associadas com a ocorrência de bactérias

não fecais sejam um problema (THOMANN; MUELLER, 1987). Não existe uma relação quantificável entre coliformes totais e microrganismos patogênicos.

Os coliformes fecais são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e outros animais. O teste para coliformes fecais é feito a uma elevada temperatura, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido (THOMANN; MUELLER, 1987). A *Escherichia coli* é uma bactéria pertencente a este grupo.

2.8 Influência de metais pesados

A expressão metal pesado é comumente utilizada para designar metais classificados como poluentes, englobando um grupo muito heterogêneo de metais, semimetais e mesmo não metais, como o selênio. Na lista de metais pesados estão com maior frequência os seguintes elementos: cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobalto, níquel, vanádio, alumínio, prata, cádmio, cromo, mercúrio e chumbo (CETESB, 2005).

Segundo Oliveira e Pasqual (2001), consistem nos metais que têm densidade maior que 5 g/cm^3 , os quais são comumente utilizados na indústria e podem, se presentes em elevadas concentrações, retardar ou inibir o processo biológico aeróbio ou anaeróbio e ser tóxico aos organismos vivos.

Os metais pesados podem ocorrer no solo sob diversas formas: na forma iônica ou complexada na solução do solo, como íons trocáveis no material orgânico ou inorgânico de troca ativa, como íons mais firmemente presos aos complexos de troca, como íons quelatos em complexos orgânicos ou organominerais, incorporados em sesquióxidos precipitados ou sais insolúveis, incorporados nos microrganismos e nos seus resíduos biológicos, ou presos nas estruturas cristalinas dos minerais primários ou secundários. Sua distribuição é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: pH, potencial redox, textura,

composição mineral (conteúdo e tipos de argilas e de óxidos de Fe, Al e Mn), características do perfil, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), quantidade e tipo de componentes orgânicos no solo e na solução, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, conteúdo de água e outros fatores que afetam a atividade microbiana. Estes fatores que afetam a distribuição dos metais pesados no sistema solo controlam sua solubilidade, mobilidade no meio e disponibilidade às plantas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992 citado por MIRANDA, 2010).

Por serem o destino final de muitos produtos e subprodutos industrializados, os aterros de resíduos sólidos de origem urbana apresentam vários componentes ricos em metais tóxicos, constituindo-se em fonte potencial de risco ambiental. A capacidade de ocasionar dano é dependente de características implícitas aos resíduos (composição), assim como da forma de seu gerenciamento; sendo ambos os reflexos das diferenças ambientais, culturais, sociais educacionais e financeiras existentes no planeta. São muitas e diferentes as situações passíveis de serem encontradas, sendo de grande ocorrência a disposição destes resíduos de formas inadequadas, muitas vezes associadas à presença de produtos perigosos, que deveriam ser coletados e tratados separadamente (ANDRADE, 2005).

Metais pesados como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cromo, zinco e manganês, dentre outros, estão presentes em diversos tipos de resíduos, podendo ser encontrados em: lâmpadas, pilhas galvânicas, baterias, restos de tinta, restos de produtos de limpeza, óleos lubrificantes usados, solventes, embalagens de aerossóis, componentes eletrônicos, descartados isoladamente, resíduos de produtos farmacêuticos, medicamentos com prazos de validade vencidos, lataria de alimento, plásticos descartados, dentre outros.

Castilhos Júnior (1989) estimando os teores de metais pesados nos resíduos sólidos urbanos, concluiu que a fração matéria orgânica aparece como

fonte principal dos metais pesados: níquel, mercúrio, cobre, chumbo e zinco; os plásticos aparecem com principal fonte de cádmio; o chumbo e o cobre se manifestam em quantidades importantes nos metais ferrosos; o papel é uma fonte de chumbo. Ainda conforme o autor, os resultados da estimativa dos teores totais, em mg/kg, dos íons de metais pesados nos resíduos sólidos urbanos brasileiros foi a seguinte: 0,2 de mercúrio, 3,0 de cádmio, 224,5 de chumbo, 316,0 de zinco, 156,0 de cobre, 12,0 de níquel e 68,0 de cromo.

A concentração de metais pesados no ambiente com sua disseminação no solo, água e atmosfera tem sido motivo de crescente preocupação no mundo. Os metais pesados podem ser percolados por meio do chorume, o qual se mistura com a água da chuva e outros líquidos, originalmente existentes no lixo, podendo infiltrar-se no solo e atingir o lençol freático, escoar para os corpos hídricos, contaminando não somente o solo, como as coleções hídricas – águas subterrâneas e superficiais.

Os metais pesados os quais são incorporados no solo podem seguir diferentes vias de fixação, liberação ou transporte. Podendo ficar retidos no solo, seja dissolvidos em solução ou fixados por processos de adsorção, complexação e precipitação. Eles também podem ser absorvidos pelas plantas e assim serem incorporados às cadeias tróficas, ou, também podem passar para a atmosfera por volatilização ou mover-se para águas superficiais e subterrâneas (MUÑOZ, 2002).

A elevação da concentração de metais como o Ni, Cr, Cu, Pb, Cd e Zn no solo pode interferir severamente na vegetação e nas atividades biológicas do solo, como a mineralização de materiais orgânicos, amonificação, fixação biológica de N₂, nitrificação, dentre outros ou, indiretamente, pelos efeitos tóxicos desses metais sobre as plantas, causando decréscimo na quantidade de substratos liberados na região rizosférica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os efeitos desses metais dependerão, entretanto, das características do solo, do tipo e concentração do metal, do número de metais contaminantes e suas interações nas áreas adjacentes. Os metais podem agir diretamente no ciclo dos elementos químicos na natureza e também podem influenciar de modo negativo os demais processos com interferência no ecossistema, com consequências no meio ambiente e na saúde pública (DOELMAN, 1985).

De acordo com Gadotti (1997), a importância dos metais pesados está relacionada com a função potencialmente inibidora que podem transmitir para o processo de digestão anaeróbia. Outro aspecto relevante é que seu monitoramento, juntamente com outros parâmetros, contribui decisivamente para se verificar a influência que os líquidos percolados de um aterro sanitário podem estar exercendo sobre a qualidade das águas subterrâneas e do solo.

As principais características de alguns metais, citadas por Damasceno (1996), são:

- a) *Cádmio* (Cd): com densidade $8,6 \text{ g/cm}^3$; é utilizado em indústrias de galvanoplastia, na fabricação de baterias, em tubos de televisão, lâmpadas fluorescentes, utilizado, também, como pigmento e estabilizador de plásticos polivinílicos. As águas não poluídas contêm menos do que 1 mg/L de Cd, e no caso de contaminação das águas superficiais, esta se dá por descarga de resíduos industriais e lixiviação de aterro sanitário, ou de solos que recebem lodo de esgoto.
- b) *Chumbo* (Pb): com densidade de $11,34 \text{ g/cm}^3$; é utilizado na fabricação de baterias, sendo usado, também, na gasolina, em pigmentos, munição e soldas. O teor de Pb em rios e lagos encontra-se na faixa de 1 a 10 mg/L , porém valores maiores têm

sido registrados onde a contaminação tem ocorrido como resultado de atividades industriais.

- c) *Cromo* (Cr): com densidade de $7,19 \text{ g/cm}^3$; é usado na fabricação de ligas metálicas empregadas nas indústrias de transporte, construções e fabricação de maquinários, na fabricação de tijolos refratários; utilizado, também, na indústria têxtil, fotográfica e de vidros. Os níveis de Cr na água, geralmente, são baixos ($9,7 \text{ g/L}$), embora níveis maiores já tenham sido relatados como consequência do lançamento nos rios de resíduos contendo este metal. A forma hexavalente do Cr é reconhecida como carcinogênica, causando câncer no trato digestivo e nos pulmões, podendo causar, também, dermatites e úlceras na pele e nas narinas. A níveis de 10 mg/kg de peso corporal o Cr^{6+} pode causar necroses no fígado, nefrites e morte, e a níveis inferiores podem ocorrer irritações na mucosa gastrintestinal.
- d) *Níquel* (Ni): com densidade de $8,90 \text{ g/cm}^3$; é utilizado na produção de ligas, na indústria de galvanoplastia, na fabricação de baterias juntamente com o Cd (baterias Ni-Cd), em componentes eletrônicos, produtos de petróleo, pigmentos e como catalisadores para hidrogenação de gorduras. Problemas significantes de contaminação de águas com Ni estão associados com a descarga de efluentes industriais contendo altos níveis desse metal. Normalmente os níveis de Ni nas águas superficiais variam entre 5 a 20 mg/L . As concentrações tóxicas de Ni podem causar muitos efeitos, entre eles, o aumento da interação competitiva com cinco elementos essenciais (Ca, Co, Cu, Fe, e Zn) provocando efeitos mutagênicos pela ligação do Ni aos ácidos nucléicos, indução de câncer nasal, pulmonar e na laringe, indução ao aparecimento de

tumores malignos nos rins e também apresentar efeitos teratogênicos.

- e) *Zinco (Zn)*: com densidade de $7,14 \text{ g/cm}^3$; é empregado na galvanização de produtos de ferro; utilizado em baterias, fertilizantes, lâmpadas, televisores e aros de rodas; componentes de Zn são usados em pinturas, plásticos, borrachas, em alguns cosméticos e produtos farmacêuticos. Este material tende a ser menos tóxico que os outros metais pesados, porém, os sintomas de toxicidade por Zn são vômitos, desidratação, dores de estômago, náuseas, desmaios e descoordenação dos músculos. O Zn mostra uma relação fortemente positiva sobre o Cd, a hipertensão induzida pelo Cd pode ser reduzida pelo Zn. Problemas ambientais envolvendo os recursos hídricos subterrâneos estão muito associados às emissões e/ou manuseio de metais pesados, substâncias como hidrocarbonetos e solventes orgânico-sintéticos (principalmente clorados), do que propriamente às excessivas cargas orgânicas degradáveis (elevada DQO), responsáveis, em geral, por maiores riscos às águas subterrâneas (INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IG, 1997).
- f) *Cobre*: formam-se complexos com a matéria orgânica que podem ser móveis e pouco solúveis. A formação de hidróxidos de Fe e Mn pode também controlar a imobilização do Cu. O cobre é um nutriente indispensável às plantas e aos seres humanos quando em baixas concentrações, mas adquire propriedades tóxicas quando em concentrações elevadas.
- g) *Ferro*: a forma reduzida Fe^{+2} é solúvel e móvel; a forma oxidada Fe^{+3} forma precipitados relativamente insolúveis com carbonatos e sulfatos. Entretanto, quando presente em altas concentrações no

organismo, pode causar sérios problemas no esôfago e estômago, além de eventuais problemas nos pulmões e ser cáustico à pele.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição das áreas de estudos

O trabalho de campo foi desenvolvido entre outubro de 2010 e junho de 2011 e a metodologia desenvolvida com base nas formas de disposição das áreas encerradas (lixões, aterros controlados e aterros sanitários), tanto para a disposição em vala, como plataformas ou mesmo para a disposição a céu aberto, nas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos nos municípios de Elói Mendes, Santo Antônio do Amparo e Campo Belo, em Minas Gerais.

3.1.1 Lixão – Município de Elói Mendes

3.1.1.1 Características do município

Elói Mendes localiza-se na região Sul do estado de Minas Gerais, possuindo de acordo com o IBGE população total de 21.907 habitantes, sendo 17.019 na área urbana e 4.888 na área rural. O índice de desenvolvimento humano no município é de 0,768%.

O clima é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Koppen, com temperatura média anual de 19,6°C, e precipitação média anual de 1592,7mm, com duas estações bem definidas, sendo a seca os meses de abril a setembro e a chuvosa de outubro a março. O município tem uma área territorial de 498,69 km², sendo 65% do relevo caracterizado como ondulado.

A quantidade de resíduos sólidos gerados no município é de 12,5 ton/dia característicos de domicílios, comércio, público e de serviços de saúde, sendo coletado diariamente em todo município.

3.1.1.2 Identificação do depósito de lixo

O lixão de Elói Mendes foi instalado na localidade conhecida como “Fazenda do Dr. Jó”, de propriedade de terceiros, a qual foi alugada pela prefeitura, possuindo uma área de aproximadamente 2,5 ha. O depósito dista de 2 km do limite da zona urbana, tendo como coordenadas Geográficas 21°37’55” S e 45°34’21”W. O acesso a atual área de disposição é feito por meio de uma estrada de terra batida cascalhada que liga o município de Elói Mendes a Monsenhor Paulo e apresenta boas condições de tráfego.

O depósito está localizado a distâncias mínimas recomendadas de rodovias/estradas e núcleo populacional. Porém existe um córrego- Ribeirão Mutuca, a jusante do depósito de lixo há uma distância menor que 300 m. O depósito de lixo não possui nenhum sistema de drenagem pluvial implantado.

Este depósito foi utilizado durante 19 anos, tendo sido encerrado devido ao esgotamento da sua capacidade volumétrica para disposição de resíduos. O entorno da área onde está instalado o lixão do município é composto por pastagens e culturas de café. A disposição dos resíduos foi feita sem nenhum critério técnico, sendo espalhado sobre o solo a céu aberto.

3.1.2 Aterro controlado – Município de Santo Antônio do Amparo

3.1.2.1 Características do município

O município de Santo Antonio do Amparo está localizado no Sudoeste do estado de Minas Gerais, possuindo de acordo com o Censo do IBGE (2007), 17.255 habitantes, gerando por dia aproximadamente 9 toneladas de resíduos sólidos. Apresenta um Índice de desenvolvimento humano municipal (IDH) de 0,726%.

O clima é Cwb de acordo com a classificação de Koppen, com temperatura média anual de 19,9°C, e precipitação média anual de 1597,6mm, com duas estações bem definidas, sendo a seca os meses de abril a setembro e a chuvosa de outubro a março.

A quantidade de resíduos sólidos gerados no município é de 8 ton/dia característicos de domicílios, comércio e público, sendo coletado diariamente em todo município. Os resíduos das unidades de serviços de saúde são coletados e tratados por empresa privada terceirizada.

3.1.2.2 Identificação do depósito de lixo

O aterro controlado foi instalado na localidade conhecida como Fazenda da Serra, o qual é de propriedade da prefeitura municipal, possuindo uma área de 3 ha. O depósito dista da sede da prefeitura municipal em 6 km, da zona urbana, tendo como coordenadas geográficas latitude 20°58'34"S e longitude 44°56'45"W. O acesso à área se dá pela rodovia BR381 em bom estado de conservação até 5,5 km e o restante por uma pequena estrada de terra batida com boas condições de tráfego. A disposição dos resíduos é feita em valas, as quais as que foram encerradas apresentam idades de 1 a 5 anos.

O depósito está situado a distâncias mínimas recomendadas de rodovias/estradas, núcleo populacional e corpos d'água, no caso o Ribeirão do Amparo, que foi o objeto de estudo Figura 4. O depósito de lixo não possui nenhum sistema de drenagem pluvial implantado.

O mesmo encontra-se em operação há 8 anos e está com sua capacidade volumétrica se esgotando. O entorno da área onde está instalado o aterro controlado é composto por vegetação nativa e plantio de eucalipto.

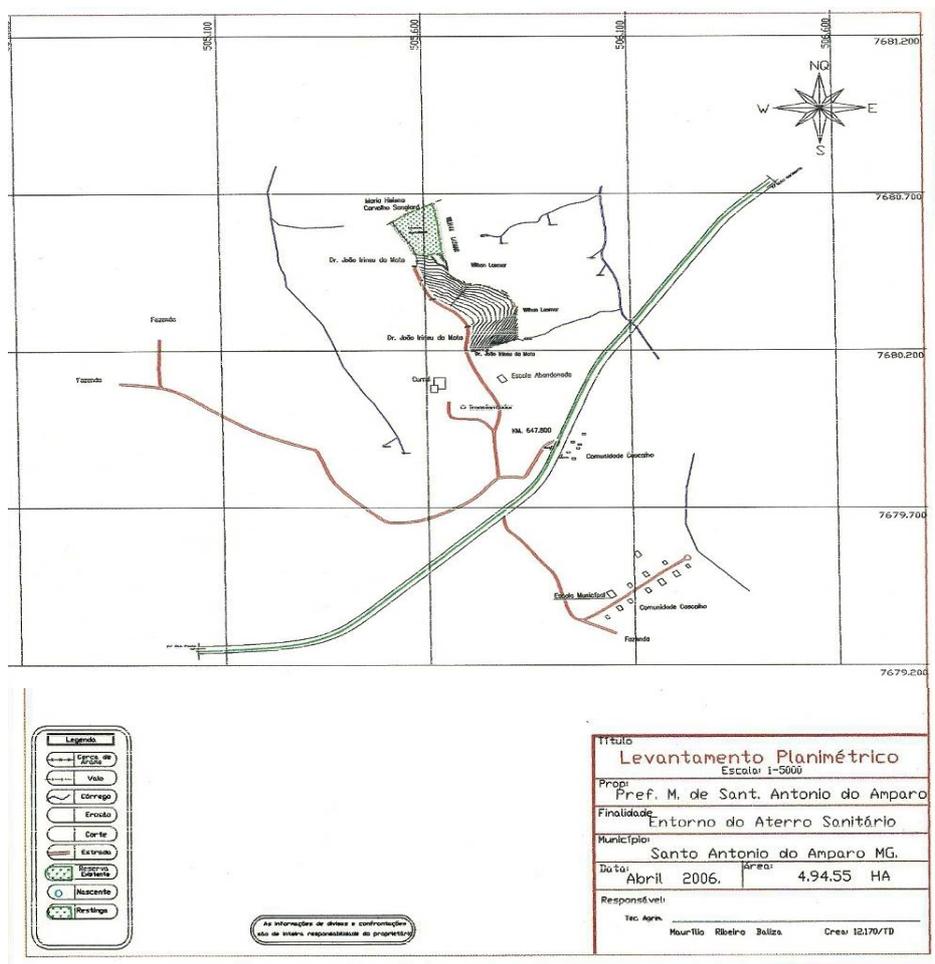


Figura 4 Croqui da área de disposição de Santo Antônio do Amparo

3.1.3 Aterro sanitário – Município de Campo Belo

3.1.3.1 Características do município

Campo Belo situa-se na região Centro-oeste do estado de Minas Gerais, possuindo de acordo com o IBGE população total de 51544 habitantes, apresentando um Índice de desenvolvimento humano municipal de 0,776%.

O clima é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Koppen, com temperatura média anual de 19,4°C, e precipitação média anual de 1529 mm, com duas estações bem definidas, sendo a seca os meses de abril a setembro e a chuvosa de outubro a março. O município tem uma área territorial de 527,9 km², sendo 55% do relevo caracterizado como ondulado.

A quantidade de resíduos sólidos gerados no município é de aproximadamente 30,0 ton/dia característicos de domicílios, comércio e público, sendo coletado diariamente em todo município, sendo que uma parte é destinada à Usina de triagem e compostagem.

3.1.3.2 Identificação do depósito de lixo

O Aterro Sanitário de Campo Belo situa-se na localidade conhecida como Estrada Vicinal do Capão, de propriedade da prefeitura, possuindo uma área de aproximadamente 10,53ha. Este depósito está sendo utilizado a 6 anos.

O depósito dista de 5 km do limite da zona urbana, tendo como coordenadas Geográficas 20°51'47" S e 45°17'45" W. O acesso a atual área de disposição se dá pela rodovia BR 369, que liga o município de Campo Belo ao município de Cristais, a qual apresenta boas condições de tráfego.

O depósito está localizado a distâncias mínimas recomendadas de rodovias/estradas e núcleo populacional. Porém, existe um córrego denominado Córrego dos Varões há uma distância menor que 300 m, havendo possibilidade do mesmo ser contaminado. O depósito possui um lixão encerrado há 6 anos em área adjacente. (Figura 5).

A disposição dos resíduos é feita em plataforma, sendo que o aterro trata o chorume em uma estação de tratamento, as quais as que foram encerradas apresentam idades de 1 a 6 anos, e a mais representativa para o trabalho foi a

plataforma mais antiga. O depósito de lixo possui sistema de drenagem pluvial definitivo, por meia-canais de concreto implantado.

O entorno da área onde está instalado o aterro sanitário do município é composto por pastagens e culturas de milho.

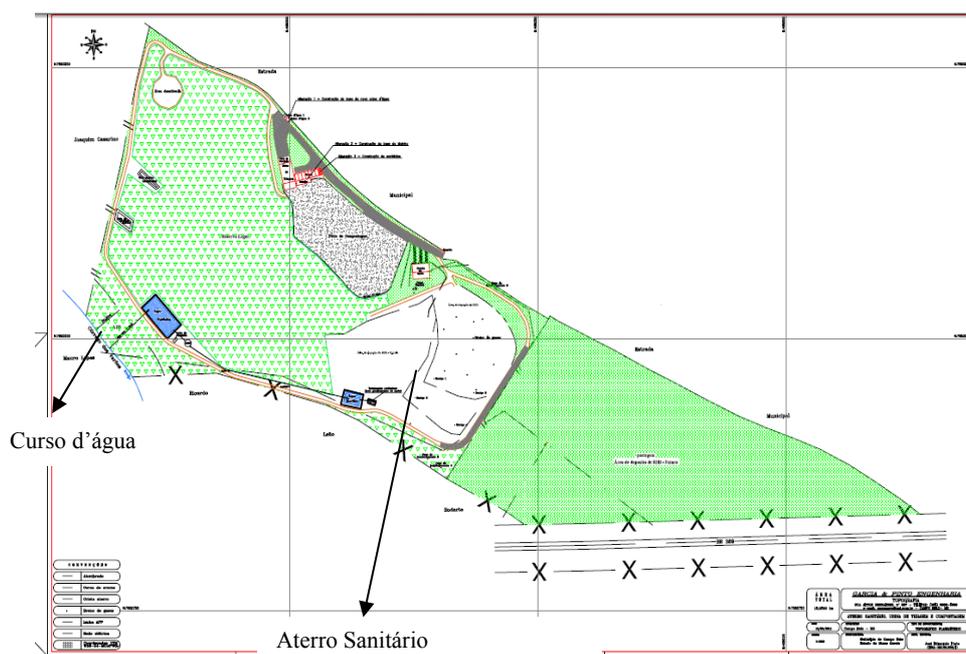


Figura 5 Croqui da área de disposição Campo Belo

3.2 Coletas, análises e procedimentos para caracterização de amostras em águas superficiais

Os procedimentos de lavagem, coleta e preservação de amostras obedeceu às normas estabelecidas (CETESB, 1988).

As amostras foram coletadas utilizando-se de frascos de 2 litros, enquanto as amostras para exames bacteriológicos e metais pesados foram coletadas em frascos esterilizados e acondicionadas à temperatura de 4°C em três pontos distintos dos municípios de Campo Belo e Elói Mendes, sendo um a

montante da ADRSU, um ponto imediatamente a sua jusante num ponto de descarga do líquido percolado e o último totalmente à jusante. No município de Santo Antônio do Amparo foram realizadas coletas em quatro pontos consistindo em dois à montante, sendo que o primeiro antes da rodovia BR 381 e o outro logo após a referida rodovia, devido à seção de drenagem para o curso d'água e os outros dois pontos seguindo o mesmo critério dos demais municípios. (Figuras 6)

As amostras de águas superficiais foram coletadas e levadas ao Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia (LAADeg) para posterior análise.



Figura 6 Coleta de água no ponto 01- montante do lixão do município de Elói Mendes

O monitoramento do processo se deu no período compreendido entre outubro de 2010 e junho de 2011, por meio de análises física, química e bacteriológica. Os parâmetros avaliados foram: temperatura do ar e do líquido, pH, turbidez, condutividade, sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, cor, cloreto, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos totais (SST) , coliformes totais e termotolerantes, conforme descrito

no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA..., 1998). Os parâmetros nitrato, fósforo total e nitrogênio amoniacal foram processados no laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Veterinária da UFMG. Para a avaliação de metais pesados, foram observados os seguintes parâmetros: alumínio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, cálcio, cobalto, ferro, manganês, magnésio, potássio, sódio, zinco, mercúrio e lítio. As amostras foram preservadas com ácido nítrico até $\text{pH} < 2$ e depois levadas ao Laboratório Ecosystem – Preservação do Meio Ambiente para análise seguindo método de absorção atômica de acordo com Standard of Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA..., 2005).

Realizaram-se medidas de vazão nos cursos d'água, todas as vezes que se coletaram amostras, pelo método do flutuador que consiste em determinar a velocidade superficial do escoamento, por meio de flutuadores (bóia), a qual é, na maioria das vezes, superior a velocidade média do escoamento, cuja determinação foi baseada em pelo menos três medições para a determinação da velocidade média, em uma determinada distância (Eq. 1). A velocidade média foi estimada como sendo 85% da velocidade superficial (Eq. 2). Para obtenção da vazão, multiplicou-se a velocidade média pela área molhada (área da seção transversal por onde está ocorrendo o escoamento) que foi obtida por meio de batimetria, medindo-se a largura do curso d'água e a profundidade em 5 pontos do referente curso.

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

em que:

V – velocidade média (m/s)

Δx - distância percorrida (m)

Δt - tempo (s)

$$Q=A*V_m \quad (2)$$

em que:

Q – vazão (m³/s) ou (L/s)

A- área (m²)

V_m – 0.85*V

Os resultados dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos e metais das águas superficiais na área de influência das ADRSU foram comparados com os valores máximos permitidos para classe II recomendados pela DN COPAM – CERH 01/2008.

Para a determinação do Índice de Qualidade de Água (IQA) proposto pelo IGAM (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2004) foi considerado um conjunto de nove parâmetros para a caracterização da qualidade de água e seus respectivos pesos de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQA, conforme Tabela 2.

Tabela 2 Valores dos pesos de cada indicador componente do IQA

Indicador	Peso (w_i)
Oxigênio dissolvido (OD)	0,17
Coliformes fecais (CF)	0,15
Potencial Hidrogenionico (PH)	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	0,10
Fosfato total (FOS)	0,10
Temperatura da água (TEMP)	0,10
Nitratos (NIT)	0,10
Turbidez (TUR)	0,08
Sólidos totais (ST)	0,08
TOTAL	1,00

O IQA foi calculado pelo produto ponderado pelos pesos atribuídos a cada indicador de qualidade de água conforme a equação 3:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (3)$$

em que:

IQA – índice de qualidade de água, um número de 0 a 100

q_i – qualidade do parâmetro i obtido através da média de qualidade;

w_i - peso atribuído ao parâmetro em função de sua importância na qualidade de água entre 0 e 1.

Os valores de IQA variam de 0 a 100, conforme especificado na Tabela 3.

Tabela 3 Classificação do nível de qualidade da água conforme valores de IQA

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$

Fonte: IGAM (2004)

3.3 Análise estatística

O presente estudo baseou-se na análise estatística descritiva que consiste na coleta, análise e interpretação de dados numéricos através da criação de instrumentos adequados: tabelas, gráficos e indicadores numéricos, visando proporcionar relatórios que apresentem informações sobre a tendência central e a dispersão dos dados, recorrendo-se para tal, a valor mínimo, valor máximo, soma dos valores, contagens, média, moda, mediana, variância e desvio padrão,

também foi realizado o teste T. As análises foram feitas utilizando-se do programa SISVAR 5.1 Build 72.

3.4 Coletas, análises e procedimentos para caracterização de amostras em solo

O estudo foi realizado nas áreas encerradas dentro do depósito de lixo, com caracterização física e química do substrato para subsídio de estabelecimento de espécies vegetais dentro da área. Para a comparação da análise química foram analisadas também a montante e a jusante da área de disposição de lixo visando identificar potencial de contaminação.

3.4.1 Caracterização química – metais pesados

Visando identificar o potencial de contaminação e avaliar possíveis influências dos metais pesados no processo de revegetação das áreas encerradas devido à proximidade do resíduo sólido urbano à superfície e comparação com as áreas adjacentes, foi realizada a caracterização química de metais pesados no substrato, coletando-se 3 amostras compostas à montante, três a jusante e três dentro da área para a profundidade de 0-20cm totalizando 9 amostras compostas por área e perfazendo um total de 27 amostras para as 3 áreas.

Foram coletadas também à montante e à jusante 3 amostras compostas cada, na profundidade de 20-40cm, para fins de comparação e o que potencialmente pode ser caracterizado como contaminação do depósito de lixo, com os seguintes parâmetros analisados: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn.

Estas foram embaladas individualmente, identificadas e levadas ao Laboratório de análise de Solo do Departamento de Ciências do solo da Universidade Federal de Lavras para posterior análise, conforme os seus procedimentos, seguindo o protocolo recomendado pela USEPA 3051.

As amostras de solo coletadas a montante do depósito de resíduos forneceram, para efeito comparativo, os valores de referência, ou seja, a concentração dos metais pesados no solo onde provavelmente não houve impacto das ADRSU sobre os mesmos.

A Tabela 4 representa os valores de concentração de metais pesados orientadores para ações de mitigação, estabelecidos pela CETESB, para solos do Estado de São Paulo.

Tabela 4 Valores referenciais para a concentração de metais pesado em solos
Valores referenciais de concentração (mg.k⁻¹ de peso seco)

Substância	Qualidade (Q)	Prevenção (P)	Intervenção (I)
Cu	35	60	400
Zn	60	300	1000
Cd	< 0,5	1,3	8
Pb	17	72	300
Ni	13	30	100
Cr	40	75	300
Hg	0,05	0,5	36

Fonte: CETESB (2005)

- a) Valor de referência de qualidade - indica o valor limite do parâmetro para que o solo seja considerado limpo. O parâmetro é destinado ao uso em ações de prevenção da poluição do solo e no controle de áreas contaminadas; tendo sido estabelecido com base em análises químicas dos diversos tipos de solos do Estado de São Paulo.
- b) Valor de prevenção - indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos. Quando excedido, indica necessidade do monitoramento das águas subterrâneas, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição. Foi estipulado com base em revisão bibliográfica sobre fitotoxicidade.

- c) Valor de intervenção - indica o limite de contaminação do solo, acima do qual, existe risco potencial à saúde humana. Quando excedido requer alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada uma avaliação de risco caso a caso. Foi estipulado com base em modelo matemático de avaliação de risco, considerando diversas vias de exposição em três cenários de uso e ocupação do solo.

3.4.2 Caracterização da condutividade hidráulica

Para o parâmetro físico condutividade hidráulica foram coletadas amostras simples em nove pontos dentro do depósito de lixo nas plataformas e valas já encerradas, mais representativas da área, ou seja, aquela encerrada há mais tempo para a caracterização da permeabilidade (Figura 7).



Figura 7 Detalhe da coleta de amostras de solo indeformado para determinação da condutividade hidráulica

A determinação da condutividade hidráulica do solo saturado foi realizada no Laboratório de Água e solo e da Universidade Federal de Lavras conforme metodologia do Permeâmetro de Carga Constante. (Figura 8)

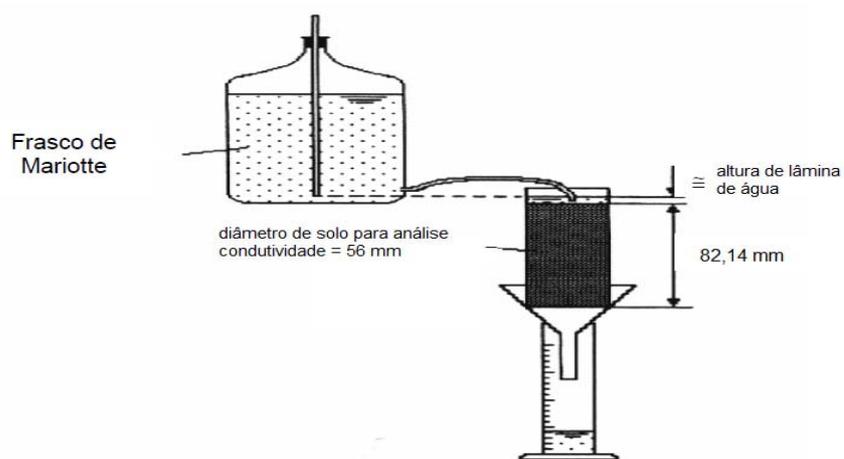


Figura 8 Esquema do processo de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica estimada para a ADRSU no município de Santo Antônio do Amparo foi da ordem de $1,17 \times 10^{-3}$ a $3,2 \times 10^{-2}$ cm/s e os municípios de Elói Mendes e Campo Belo de $1,7 \times 10^{-4}$ a $3,38 \times 10^{-2}$ cm/s e $3,5 \times 10^{-4}$ a $3,06 \times 10^{-2}$ cm/s respectivamente. Neste sentido, Santo Antônio do Amparo apresenta uma susceptibilidade maior da infiltração de percolados podendo contaminar solos e águas subterrâneas.

Os valores encontrados são caracterizados como elevados e não recomendado por Daniel (1993) para confecção de sistemas de impermeabilização, pois permite alta taxa de infiltração, aumentando assim, o gradiente de pressão no interior da célula que é determinante para o transporte mecânico- advectivo de espécies por meio de solos.

A norma NBR 13896 (ABNT, 1997) estabelece como condição ideal para a instalação de um aterro, o local que possui coeficiente de permeabilidade de 10^6 cm/s. Porém, são adotadas três faixas de valores para permeabilidade do solo, sugeridos nas normas brasileiras: baixa permeabilidade $K = 10^{-6}$ cm/s, faixa mediana condutividade da ordem 10^{-4} e 10^{-5} cm/s. e permeabilidade alta $K = 10^{-3}$ cm/s.

Porém, é importante destacar que a condutividade a qual recomenda a norma é utilizada para impermeabilização do aterro, sendo a mesma influenciada pela compactação. No caso do estudo foi verificada a condutividade na camada de cobertura final das áreas de disposição de lixo, sendo classificada como permeabilidade alta. Aguiar (2001) no seu estudo encontrou uma condutividade no solo de cobertura do aterro de Santo Amaro de $7,18 \times 10^{-2}$ a $9,88 \times 10^{-2}$ cm/s

A variação dos valores de condutividade deve-se ao fato de que a mesma apresenta grande variabilidade espacial devido a diferenças existentes no solo (HURTADO, 2004).

4.2 Caracterização química do solo – metais pesados

As amostras de solo coletadas a montante do depósito de resíduos forneceram, para efeito comparativo, os valores de referência, ou seja, a concentração dos metais pesados no solo onde provavelmente não houve impacto das ADRSU sobre os mesmos.

As Tabelas 5 a 10 representam os valores médios encontrados nas amostras das três áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos tanto para a camada de 0-20 cm como para a camada de 20 -40 cm

Tabela 5 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Aterro Controlado de Santo Antonio do Amparo – MG – 2011

Metal Pesado	Concentração (mg.k ⁻¹ de peso seco)		
	Montante	Aterro	Jusante
Cu	18,93	24,67	48,57_Q
Zn	8,60	17,34	36,15
Cd	0,01	0,01	0,02
Pb	6,86	6,02	10,12
Ni	25,34_Q	33,36_P	83,00_P
Cr	128,70_P	173,73_P	377,65_I
Hg	<0,1	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Tabela 6 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Aterro Controlado de Santo Antonio do Amparo – MG – 2011

Concentração (mg.k ⁻¹ de peso seco)		
Metal Pesado	Montante	Jusante
Cu	17,6	61,44_P
Zn	7,49	42,41
Cd	0,02	0,01
Pb	5,46	8,12
Ni	16,09_Q	121,57_I
Cr	116,23_P	530,00_I
Hg	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Tabela 7 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Aterro Sanitário de Campo Belo – MG – 2011

Concentração (mg.k ⁻¹ de peso seco)			
Metal Pesado	Montante	Aterro	Jusante
Cu	5,13	9,63	4,03
Zn	6,18	9,14	29,08
Cd	0,01	0,01	0,01
Pb	5,26	7,01	13,62
Ni	2,64	9,10	3,88
Cr	16,05	21,09	17,48
Hg	<0,1	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Tabela 8 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Aterro Sanitário de Campo Belo – MG – 2011

Concentração (mg.k ⁻¹ de peso seco)		
Metal Pesado	Montante	Jusante
Cu	3,77	2,90
Zn	3,38	19,01
Cd	0,01	0,01
Pb	5,30	12,02
Ni	1,23	4,73
Cr	13,05	12,43
Hg	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Tabela 9 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 0-20cm de solos - Lixão de Elói Mendes - MG – 2011

Concentração (mg.k⁻¹ de peso seco)			
Metal Pesado	Montante	Aterro	Jusante
Cu	14,40	11,03	9,80
Zn	6,04	15,93	15,00
Cd	0,02	0,03	0,02
Pb	24,25	4,10	7,80
Ni	7,25	3,57	7,49
Cr	18,01	20,72	12,86
Hg	<0,1	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Tabela 10 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados na camada de 20-40cm de solos - Lixão de Elói Mendes - MG – 2011

Concentração (mg.k⁻¹ de peso seco)		
Metal Pesado	Montante	Jusante
Cu	11,23	10,93
Zn	4,73	7,15
Cd	0,02	0,02
Pb	16,20	8,28
Ni	1,54	3,41
Cr	16,51	10,85
Hg	<0,1	<0,1

Índice sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados

Para os municípios de Elói Mendes e Campo Belo, tanto na camada de 0 – 20 cm como na camada de 20 – 40 cm, os parâmetros avaliados encontram-se em conformidade com os valores orientadores para solos (CETESB, 2005), portanto classificados como solos limpos não necessitando de ações de prevenção para poluição do solo.

Em contrapartida, na camada de 0-20 da área e do entorno do aterro controlado do município de Santo Antônio do Amparo foram encontrados à jusante valores superiores aos de referência de qualidade para o elemento cobre. Para o níquel o valor encontrado a montante supera o valor de referência de qualidade e dentro do aterro controlado como à jusante supera os valores de

prevenção, o que, de acordo com CETESB 2005 já ocorrem alterações prejudiciais à qualidade do solo. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Para o elemento cromo encontram-se valores acima do limite de prevenção tanto a montante como dentro do aterro, fato também observado para o elemento níquel dentro do aterro e à jusante. Em relação à concentração de cromo observado a jusante, o mesmo supera os valores de intervenção inferindo que existem riscos potenciais à saúde humana, sendo esta área classificada como contaminada indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

Com base no teste estatístico de T, foi observado que o fator posição de amostragem, nos municípios de Elói Mendes e Santo Antônio do Amparo não apresentou diferença estatística (Tabela 11), porém, principalmente no município de Santo Antônio do Amparo, os elementos cromo e níquel apresentaram coeficiente de variação (CV - %) de 83e 82 respectivamente, sinalizando uma elevada variabilidade espacial. Mesmo não havendo diferença significativa nota-se pelas tabelas 5 e 6, que há um aumento dos elementos, principalmente níquel, cobre e cromo, podendo-se inferir que o aterro contribuiu com um leve aumento desses elementos à jusante, já que os mesmos são considerados acumulativos.

Tabela 11 Resultados dos testes T aplicados às matrizes montante, área de disposição e jusante

	TESTE T		
	Montante - aterro	Aterro – jusante	Montante - jusante
Campo Belo	0,016	0,638	0,203
Elói Mendes	0,578	0,828	0,445
Santo Antônio do Amparo	0,172	0,174	0,173

Já para o município de Campo Belo houve diferença significativa entre as posições montante e aterro, podendo se explicar o aterro exerce influência na contaminação do solo.

4.3 Índice de qualidade de água

Na Tabela 12, encontra-se o Índice de Qualidade da Água médio (IQA) calculado para cada ponto amostrado nos cursos d'água influenciados pelas três áreas de disposição de resíduos.

Observando-se o Gráfico 1, nota-se que o IQA de menor valor foi no ponto 2 (logo após um ponto de descarga de escoamento proveniente do lixão de Elói Mendes), observa-se que nos meses chuvosos o IQA é relativamente menor ao final do período de monitoramento caracterizado por fase seca. O fato de o IQA ser menor no período chuvoso deve-se exclusivamente aos parâmetros turbidez e coliformes fecais, os quais apresentaram valores médios bem distintos no período chuvoso e período seco, indicando que estes parâmetros foram fatores determinantes na mudança nos valores de IQA. Ambos os parâmetros são altamente influenciados pelo período chuvoso em função da ocorrência de escoamento superficial que arrasta consigo solo em suspensão e fontes de coliformes.

Pela tabela 12, o IQA médio do curso d'água de Elói Mendes foi caracterizado como ruim ($25 < \text{IQA} < 50$). É possível observar que o IQA médio é semelhante nos três pontos, isto se deve basicamente ao fato de a bacia em que está inserido o curso d'água é utilizada para gado de leite, o que foi observado em várias coletas a presença de gado próximo ao curso d'água (Figuras 9 e 10).

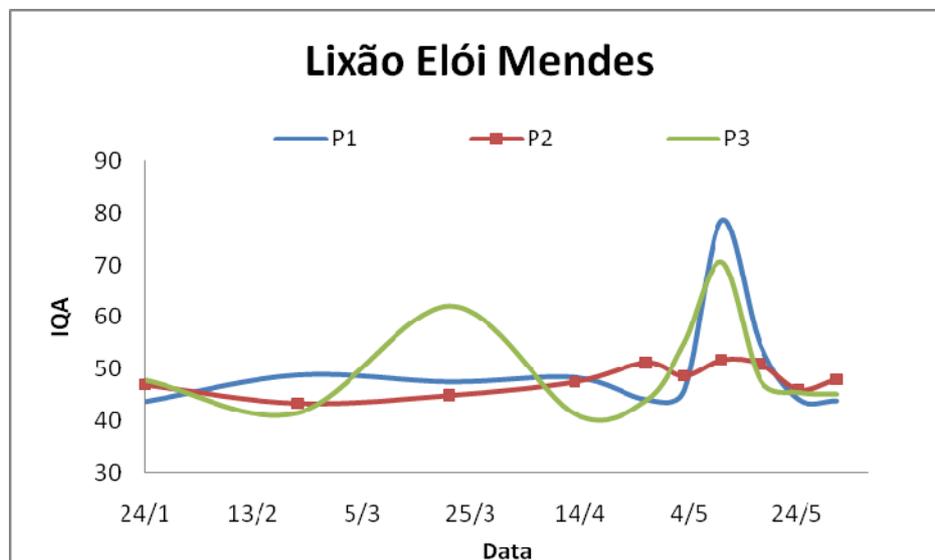


Gráfico 1 Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Ribeirão Mutuca



Figura 9 Presença de gado próximo ao ponto de coleta e,



Figura 10 Vestígios de gado no curso d'água

Para o Córrego dos Varões, no município de Campo Belo o menor valor de IQA também foi obtido no ponto 2 - ponto logo após a descarga da ETE. Observa-se que também nos meses chuvosos o IQA foi menor tendendo a crescer ao longo do período culminando na fase seca. Porém, houve alguns picos do IQA no período seco sendo influenciado pelo aumento de coliformes fecais.

De acordo com a Tabela 12 e Gráfico 2, o IQA médio foi classificado como médio ($50 < \text{IQA} < 70$), o qual está relacionado com uma área mais preservada de difícil acesso não sendo verificada presença de animais.

Foram avaliados o IQA em três pontos sendo Ponto 1 (P1) – montante do aterro sanitário, ponto 2 (P2) ponto logo após um local de descarga da ETE – o e ponto 3 (P3) jusante do aterro sanitário.

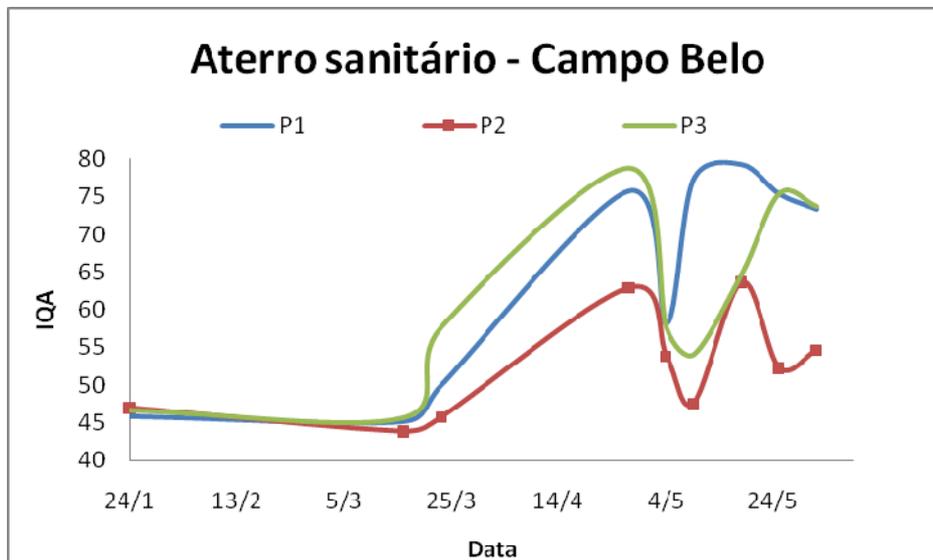


Gráfico 2 Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Córrego dos Varoes – Campo Belo



Figura 11 Coleta de água em Campo Belo

Para o Ribeirão do Amparo, localizado às margens da rodovia BR 381 no município de Santo Antônio do Amparo o IQA foi avaliado em quatro pontos sendo Ponto 1(P1) – montante do aterro controlado antes da rodovia, ponto 2 (P2) montante do aterro controlado depois da rodovia ponto 3 (P3) ponto logo após um ponto de escoamento superficial proveniente do aterro e ponto 4 (P4) jusante do aterro controlado.

De acordo com o Gráfico 3, observa-se que o pior índice de qualidade de água se deu no ponto 2 e no ponto 4. Esse fato permite inferir que o mesmo é menor devido às atividades leiteiras em volta da região que contribui para curso d'água em questão e presença de gado respectivamente. Ressalta-se que as características físicas, químicas e biológicas não sofrem interferência da rodovia BR 381, que poderia influenciar apenas na contaminação por metais pesados.

O ponto 4 oscilou extremamente no período seco devido, provavelmente, à presença de gado, que possui livre acesso ao curso d'água (Figura 12).



Figura 12 Presença de gado no Ponto de coleta 4 – Ribeirão do Amparo

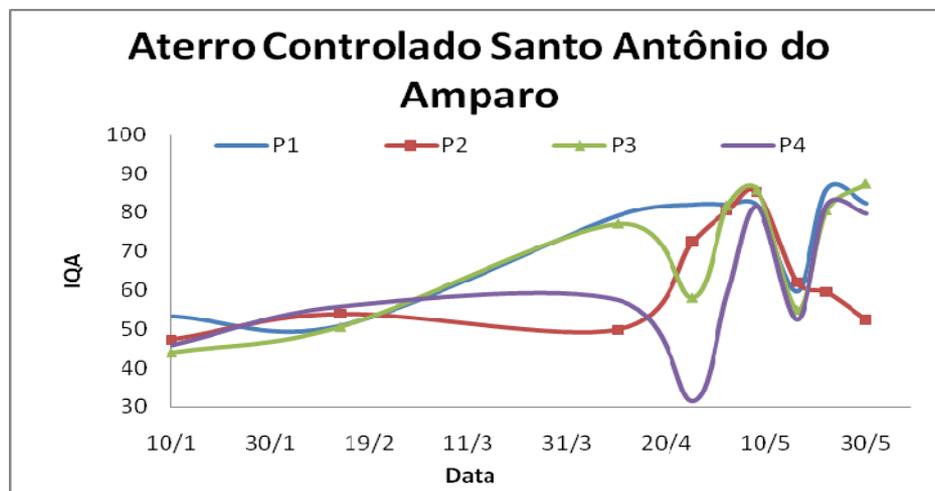


Gráfico 3 Evolução espacial e temporal do índice de qualidade de água para o Ribeirão do Amparo

De acordo com a Tabela 12 o IQA médio foi classificado como médio com valor de 66,31, ($50 < \text{IQA} < 70$), o qual está relacionado com uma área mais preservada de difícil acesso não sendo verificada presença de animais.

Tabela 12 Valores médios do Índice de Qualidade de Água durante o período de monitoramento e classificação segundo IGAM (2004)

Pontos de amostragem	Ribeirão do Amparo	Ribeirão Mutuca	Córrego do Amparo
	IQA médio		
P1	73,03	49,94	64,45
P2	62,56	47,95	52,37
P3	68,96	49,99	61,57
P4	60,68		
Valores médios	66,31	49,29	59,46
Classificação	médio	ruim	Médio

Ao se associar os valores médios de IQA com a tipologia das ADRSU observa-se que o lixão associa-se ao pior valor de qualidade de água, porém, ao se considerar o fator posição de amostragem verifica-se que o Ribeirão Mutuca,

no município de Elói Mendes, apresenta classificação Ruim em todos os 3 pontos de coleta, o que permite inferir que há outros fatores estranhos ao lixão concorrendo para este quadro ambiental.

4.4 Análise descritiva

Os resultados das análises de águas superficiais foram obtidos por meio da estatística descritiva com valor mínimo, máximo, médio e desvio padrão para os cursos d'água. Estes, estão relacionados com os valores máximos permitidos pela Deliberação Normativa COPAM- CERH 01/2008 (Tabelas 13 a 15). (MINAS GERAIS, 2008).

Tabela 13 Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes

		Valores Característicos					
	Unid	média	mín	máx	S*	VR*	
P1	pH	-	6,25	5,95	7,11	0,36	6 a 9
	Relação DBO/DQO		21,66				
	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10442,6**	0	$2,5 \cdot 10^5$	-	1000
	cor	Pt/L	64,90	4	170,00	60,96	75
	Amônia	mg/L	5,42	0,85	9,52	3,47	-
	Fósforo	mg/L	2,83	1,20	8,80	2,16	0,05
	pH	-	6,11	5,47	6,90	0,43	6 a 9
	Relação DBO/DQO		12,78				
	pH	-	6,11	5,47	6,90	0,43	6 a 9
	Relação DBO/DQO		12,78				
P2	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	29641,04**	1,1.10⁴	9,5.10⁴	-	1000
	cor	Pt/L	79,00	12	167,00	56,46	75
	Amônia	mg/L	7,05	2,80	11,50	2,80	-
	Fósforo	mg/L	1,82	0,90	2,82	0,63	0,05

“continua”

Tabela 13 “conclusão”

		Valores Característicos					
	Unid	média	mín	máx	S*	VR*	
	pH	-	5,96	5,12	6,82	0,51	6 a 9
	Relação DBO/DQO		10,06				
P3	OD	mg/L O2	6,47	3,00	8,90	1,93	>5
	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2691,22**	0	4,5.10⁴	-	1000
	cor	Pt/L	98,70	5	194,00	74,78	75
	Amônia	mg/L	7,60	3,92	12,90	3,18	-
	Fósforo	mg/L	2,10	0,70	3,40	0,80	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CERH 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 14 Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Córrego dos Varões em Campo Belo – Ponto 1 (montante da ADRSU)

		Valores Característicos					
	Unid	média	mín	máx	S*	VR*	
	pH	-	6,33	5,76	6,84	0,34	6 a 9
	Relação DBO/DQO		8,72				
P1	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	63,84**	0	2,5.10⁵	-	1000
	cor	Pt/L	177,10	20	406,00	130,70	75
	Amônia	mg/L	4,90	0,70	8,96	2,26	-
	Fósforo	mg/L	0,94	0,70	1,35	0,17	0,05
	pH	-	6,34	5,73	6,70	0,30	6 a 9
	Relação DBO/DQO		8,32				
	turbidez	UNT	112,60	7,45	380	123,45	100
	DBO	mg/L	1,94	0,15	5,85	1,69	5
P2	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1217,02**	0	1,1.10⁶	-	1000
	cor	Pt/L	227,50	40	380,00	93,34	75
	Amônia	mg/L	4,87	1,05	7,84	2,21	-
	Fósforo	mg/L	1,11	0,68	1,80	0,36	0,05

“continua”

Tabela 14 “conclusão”

		Valores Característicos					
	média	mín	média	mín	máx	S*	VR*
	pH	-	6,43	5,51	6,73	0,38	6 a 9
	Relação DBO/DQO		7,63				
P3	DBO	mg/L	2,03	0,15	6,35	1,88	5
	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	419,83**	0	2,5.10⁶	-	1000
	cor	Pt/L	158,60	48	292,00	75,55	75
	Amônia	mg/L	4,76	0,43	9,65	3,73	-
	Fósforo	mg/L	1,42	0,45	6,54	1,82	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 15 Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo – Ponto 1 (montante da ADRSU)

		Valores Característicos					
		Unid	média	mín	máx	S*	VR*
	pH	-	6,32	5,57	7,01	0,43	6 a 9
	Relação DBO/DQO		42,78				
P1	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	54,65**	0	9,5.10⁴	-	1000
	Amônia	mg/L	7,82	4,20	12,88	2,68	-
	Fósforo	mg/L	0,60	0	1,45	0,36	0,05
	pH	-	6,41	5,71	7,56	0,55	6 a 9
	Relação DBO/DQO		12,85				
P2	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	774,81**	0	9,5.10⁴	-	1000
	Amônia	mg/L	7,05	2,80	11,50	2,80	-
	Fósforo	mg/L	1,48	0,00	6,12	1,79	0,05

“continua”

Tabela 15 “conclusão”

		Valores Característicos					
		Unid	média	mín	máx	S*	VR*
P3	pH	-	6,29	5,53	6,91	0,42	6 a 9
	Relação DBO/DQO		6,70				
	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	205,6**	0	2,5.10⁵	-	1000
	cor	Pt/L	34,80	7	90	28,00	75
	Amônia	mg/L	7,69	5,04	13,50	2,83	-
	Fósforo	mg/L	0,57	0	1,20	0,42	0,05
	pH	-	6,35	5,63	6,85	0,40	6 a 9
P4	Relação DBO/DQO		19,81				
	turbidez	UNT	44,78	11,81	245,00	70,90	100
	coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1487,84**	0	4,5.10⁵	-	1000
	cor	Pt/L	46,80	1	120	40,70	75
	Amônia	mg/L	7,76	4,48	12,07	2,15	-
	Fósforo	mg/L	0,59	0	1,75	0,49	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Para o curso d’água Mutuca em Elói Mendes encontram-se fora dos limites os parâmetros coliformes termotolerantes, cor e fósforo. Esses parâmetros indicam a ocorrência de chuva e o carreamento de substâncias provenientes do solo, fezes de animais por meio do escoamento superficial, podendo também ter sido carreados substâncias provenientes do lixão para os locais P2 e P3.

O parâmetro oxigênio dissolvido encontra-se abaixo do limite estabelecido para o local P3, o qual é de caracterização dos efeitos da água por despejos orgânicos. Essa constatação permite inferir que há fonte de poluição difusa, já que não foi encontrada nenhuma fonte de poluição pontual no curso d’água.

A análise microbiológica de coliformes termotolerantes mostrou-se superior para os três pontos do Córrego dos Varões no município de Campo Belo, a qual pode-se inferir a contaminação é fonte do aterro sanitário e/ ou do lixão encerrado em área adjacente, já que a área é de difícil acesso e não foi observada a presença de gado.

O local P2 da área do aterro sanitário de Campo Belo apresentou valores superiores ao máximo permitido para os parâmetros de turbidez e cor (tanto a média como o valor máximo), DBO_5 máximo e fósforo, assim como apresentou um pH mínimo de 5,73. Estes parâmetros estão em desacordo com a DN COPAM – CERH 01/2008. É importante lembrar que o referido ponto encontra-se após a descarga do efluente tratado, que reflete diretamente na qualidade da água do Córrego dos Varões, o que pode ser constatado, pelos sinais visíveis na cor e odor da água, ratificados pelos parâmetros em desacordo.

O parâmetro fósforo esteve sempre em desacordo em todos os pontos analisados, e este, quando em elevadas concentrações principalmente em ambientes lênticos, pode conduzir à eutrofização.

Para o parâmetro amônia em todos os pontos de todos os cursos d'água encontra-se em média acima do VMP – 3,7 mg/L para $PH < 7,5$. Segundo Von Sperling (1995), o mesmo quando encontrado na forma de amônia livre, ou seja, quando ainda não sofreu processos bioquímicos apresenta-se altamente tóxico aos peixes.

Assim como a relação DQO/DBO foi bem elevada em todos os corpos receptores, o qual a fração inerte é importante em termo de poluição, esta relação indica que é de grande importância o tratamento físico-químico da água.

Concentrações de nitrato superiores a 10mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes são dejetos humanos e animais. Apresentam riscos à saúde humana e está associado a doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul).

Somente no local P1 do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo não foi observado valores acima do limite permitido de 75 PtCo/L em comparação com os demais pontos e as demais áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos, esta área não sofre nenhum tipo de influência do aterro.

Em todos os pontos verificam-se valores mínimos de pH do que os recomendados pela DN COPAM CERH 01/2008 dos cursos d'água dos municípios de Campo Belo, Santo Antônio do Amparo e Elói Mendes. Porém, quando analisados os valores médios apenas o local P3 do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes encontra-se abaixo do recomendável, podendo inferir sobre a acidez do mesmo. Somente uma análise contínua da acidez, permitirá caracterizar categoricamente essa água como ácida ou não.

Maiores valores de turbidez comumente são atribuídos a períodos chuvosos, porém foram observados valores acima do recomendável no Córrego dos Varões P2 e Ribeirão do Amparo P4 em épocas secas.

A turbidez é relacionada com sólidos em suspensão, sendo fonte de origem antropogênica de despejos domésticos, industriais, microrganismos e erosão. Em P2 este fato pode estar relacionado à descarga da ETE do aterro sanitário de campo Belo e em P4 no município de Santo Antônio do Amparo a processos erosivos (desbarrancamento).

Os resultados da síntese descritiva para todos os pontos monitorados dos cursos d'água encontram-se no ANEXO A.

4.5 Análise química dos metais pesados e substâncias inorgânicas em água

Na Tabela 16 são representados os parâmetros avaliados e o seu Valor Máximo Permitido, que é utilizado para comparação com os valores encontrados

nos cursos d'água dos municípios de Campo Belo Elói Mendes e Santo Antônio do Amparo presentes nas Tabelas 24 a 26.

Tabela 16 Valores Máximos permitidos pela DN COPAM CERH 01/2008 para metais pesados e substâncias inorgânica

	Unidade	VMP
Ca	mg/L	-
Mg	mg/L	-
K	mg/L	-
S	mg/L	-
Al	mg/L	0,10
Cd	mg/L	0,001
Pb	mg/L	0,01
Co	mg/L	0,01
Cu	mg/L	0,009
Cr	mg/L	0,05
Fe	mg/L	0,30
Li	mg/L	2,5
Mn	mg/L	0,10
Hg	mg/L	0,0002
Zn	mg/L	0,18

VMP – Valores Máximos Permitidos

Observa-se nas Tabelas 17 a 19 para os três municípios em questão que a concentração de ferro sempre foi elevada, porém, grande parte desta é resultado normalmente da dissolução de compostos do solo e é associado principalmente a sólidos em suspensão ou dissolvidos. Mas este também pode ser influenciado pelas áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos por carreamento por meio do escoamento superficial em função da dissorção.

Para o curso d'água de Campo Belo na tabela 24, analisa-se que os níveis de alumínio além do ferro, foram superiores ao valor máximo permitido.

Para o parâmetro alumínio observou-se que o mesmo apresentou tendência de acúmulo ao longo do curso d'água, já que a concentração em P2 é maior que P1 e em P3 maior que P2, permitindo inferir uma leve contaminação

do aterro sanitário. O mesmo foi associado com o período de chuvas, onde obteve-se maior concentração. O acúmulo de alumínio no homem é associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2006).

A concentração de mercúrio mostrou-se acima em P3, que pode ser proveniente do efluente oriundo da ETE do aterro sanitário. A contaminação por esse metal pesado quando ingerido provoca náusea, vômitos, dores abdominais, diarreia podendo levar até a morte. Deve-se atentar para o fato do lixão encerrado em área adjacente que pode influenciar a concentração desses metais no curso d'água, por pelo menos 25 anos, já que o mesmo não foi encerrado de forma adequada.

Tabela 17 Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais para o Córrego dos Varões em Campo Belo

	Unidade	P1	P2	P3
Ca	mg/L	5,81	5,97	5,81
Mg	mg/L	1,53	1,54	1,45
K	mg/L	3,00	2,41	2,88
Na	mg/L	14,53	14,72	14,37
Al	mg/L	0,19	0,21	0,25
Cd	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Pb	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Co	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Cu	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Cr	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Fe	mg/L	5,63	7,64	5,73
Li	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Mn	mg/L	0,06	0,0775	0,06
Hg	mg/L	0,0002	0,0002	0,0003
Zn	mg/L	0,01	0,018	0,018

LQ Limite de Quantificação

Valores em negrito superam VMP

Pela Tabela 25, nota-se que além do ferro, houve uma concentração de manganês acima do VMP em P1, resultado da dissolução de compostos do solo e é associado principalmente a sólidos em suspensão ou dissolvidos. A concentração de zinco acima do permitido pode estar associada ao uso de pesticidas na bacia estudada.

Tabela 18 Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais para o Ribeirão do Amparo em Elói Mendes

	Unidade	P1	P2	P3
Ca	mg/L	2,99	3,08	26,32
Mg	mg/L	0,69	0,73	0,65
K	mg/L	2,63	4,26	1,39
Na	mg/L	9,86	9,07	8,29
Al	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Cd	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Pb	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Co	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Cu	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Cr	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Fe	mg/L	3,23	2,30	3,13
Li	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ
Mn	mg/L	0,19	0,08	0,10
Hg	mg/L	0,0002	<LQ	0,0002
Zn	mg/L	0,03	0,03	0,03

LQ Limite de Quantificação

Valores em negrito superam VMP

Os valores médios do parâmetro mercúrio não apresentam-se acima do valor máximo permitido (Tabela 26), porém, deve-se considerar uma concentração alta do mesmo no P1 e P4 em duas coletas no período de chuva. Fato que permite considerar que a contaminação pode estar associada ao uso da bacia. Um estudo sobre os usos da bacia em questão poderá ser necessário. Em relação ao manganês, este é o resultado normalmente da dissolução de compostos do solo e é associado principalmente a sólidos em suspensão ou dissolvidos.

Tabela 19 Valores médios das amostras de metais pesados e dos parâmetros inorgânicos em águas superficiais no município de Santo Antônio do Amparo

	Unidade	P1	P2	P3	P4
Ca	mg/L	3,17	3,50	3,91	4,23
Mg	mg/L	0,81	0,83	1,00	1,32
K	mg/L	1,47	1,43	1,38	1,97
Na	mg/L	17,61	17,10	35,90	16,16
Al	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cd	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Pb	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Co	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cu	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cr	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Fe	mg/L	33,66	2,32	3,49	3,77
Li	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mn	mg/L	0,08	0,10	0,16	0,20
Hg	mg/L	0,0002	0,0002	<LQ	0,0002
Zn	mg/L	0,018	0,018	0,018	0,018

LQ Limite de Quantificação

Valores em negrito superam VMP

5 CONCLUSÕES

a) Município de Elói - Lixão

- Não se identificou contaminação do Ribeirão Mutuca por substâncias inorgânicas e metais pesado;

- O Ribeirão Mutuca apresentou IQA classificado como ruim em todos os pontos de monitoramento. Provavelmente os fatores determinantes do baixo IQA são decorrentes de outros usos ao longo da área de drenagem à montante da ADSRU.

- Não foi detectada contaminação do solo por metais pesados.

b) Município de Santo Antônio do Amparo - Aterro Controlado

- No Ribeirão do Amparo foram detectadas elevadas concentrações de mercúrio (0,0008 mg/L) à montante e a sua jusante da área de disposição, em duas campanhas distintas, que podem estar associadas à chuva ocorrida no período, entretanto nos pontos monitorados que sofrem a influencia da ADRSU não se detectou contaminação.

- Quanto ao IQA pode ser classificado como médio.

- Detectou-se no período estudado, elevada concentração de metais pesados no solo.

c) Município de Campo Belo - Aterro Sanitário

- O Córrego dos Varões apresentou contaminação por substâncias inorgânicas e metais pesados. A presença do lixão encerrado em área adjacente pode estar contribuindo para tal contaminação.

- Quanto ao IQA pode ser classificado como médio.
- Não se observou contaminação dos solos no período estudado.

Portanto, com base nestas conclusões não se pode identificar potencialidades de contaminação distintas entre as tipologias de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. B. **O emprego do Permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura**. 2001. 67 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ALBERTE, E. P.; CARNEIRO, A. P.; KAN, L. Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Diálogos & Ciência**, Feira de Santana, v. 3, n, 5, p. 15, jun. 2005.

ANDRADE, J. C. M. **Fitotransporte de metais em espécies arbóreas e arbustivas em aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

APHA standard methods: for examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore: APHA, AWWA, WPCP, 1998.

APHA standard methods: for examination of water and wastewater. 21th ed. Baltimore: APHA, AWWA, WPCP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos sólidos**: classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13896. **Aterros de resíduos não-perigosos**: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10703. **Degradação do solo**: terminologia. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896. **Aterros de resíduos não perigosos**: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BELI, E. et al. Recuperação da área degradada pelo lixão Areia Branca de Espírito Santo do Pinhal – SP. **Engenharia ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 135-148, jan./dez. 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos: o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

CASTILHO JÚNIOR, A. B. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. **BIO - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 57-60, 1988.

CASTILHO JÚNIOR, A. B. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com Ênfase na preservação de corpos d'água**: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

CASTILHO JÚNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos**: aterros sustentável para município de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 294 p.

CHERUBINI, R. **Avaliação ambiental do sistema de coleta e disposição final de resíduos sólidos urbanos do município de farroupilha – RS**. Caxias do Sul: [s. n.], 2008.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. **Manual de Operação de Aterros Sanitários**. Disponível em <http://http://www.conder.ba.gov.br/manual_aterro.pdf>. Acesso em 12 ago. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aterro em valas**. São Paulo, 1997. Apostilas Ambientais.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 1998.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Valores orientadores para solo e água subterrânea**. São Paulo, 2005.

DANIEL, D. E. **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman and Hall, 1993. 683 p.

DOELMAN, P. Resistance of soil microbial communities to heavy metals. In: JENSEN, V.; KJOLLER, A.; SORENSEN, L. H. **Microbial communities in soil**. England: Elsevier Applied Science, 1985. p. 369-384.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações técnicas para atendimento da Deliberação Normativa 118/2008 do Conselho Estadual de Política Ambiental / Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Belo Horizonte, 2008. 48 p.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de impactos ambientais**: aplicação aos sistemas de transporte. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 249 p.

GADOTTI, R. F. **Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos**. 1997. 150 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

HURTADO, A. L. B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial**. 2004. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em: 6 jul. 2011.

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco da poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB/DAEE, 1997. 129 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Projeto Águas de Minas**. 2006. Disponível em: <http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/pnma_apres.htm#>. Acesso em: 11 mar. 2011.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório de monitoramento das águas superficiais na Bacia do Rio Doce**. Belo Horizonte, 2004. 231 p.

JARDIM, N. S. **O lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1995. 275 p.

LANZA, V. C. V. **Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. 28 p.

LIMA, J. S. **avaliação da contaminação do lençol freático do lixão do Município de São Pedro da Aldeia – RJ**. 2003. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, rio de Janeiro, 2003.

MAGALHÃES, A. F. **Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos**: estudo de caso para o Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG. 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em-Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

MINAS GERAIS. **Deliberação normativa conjunta COPAM/CERH-MG, nº01**, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

MIRANDA, V. S. **Reabilitação de área degradada pela deposição de resíduos sólidos urbanos usando gramíneas forrageiras**. 2010. 33 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, O. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

MUÑOZ, S. I. S. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP**: avaliação dos níveis de metais pesados. 2002. 92 f. Dissertação (Doutorado em Enfermagem em

Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, C. N. **Recuperação ambiental de aterros sanitários na região metropolitana de Campinas: revegetação e uso futuro.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação da qualidade da água subterrânea a jusante do depósito de resíduos sólidos municipais de Botucatu/SP. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 16, n. 4, p.25-35 -, 2001.

PEÑIDO MONTEIRO, J. H. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: RECUPERAÇÃO de áreas degradadas. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 163-176.

ROCCA, A. C. C. et al. **Resíduos sólidos industriais.** 2. ed. São Paulo: CETESB, 1993. 234 p.

ROSA, A. S. et al. Caracterização de solo construído sobre aterro de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: [s. n.], 2007. 1 CD ROM.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental.** 1998. 178p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá- MT.** 2008. 111 p . Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2008.

SCHALCH, V. Atividades envolvidas no gerenciamento de resíduos sólidos. In: TAUK TORNISIELO, S. M. (Org.). **Análise ambiental: estratégias e ações.** Rio Claro: CEA/UNESP, 1995. p. 231-37.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo: fundamentos e perceptivas.** Brasília: FAEPE-ABEAS, 1998. 235 p.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. New York: Harper & Rowe, 1987. 644 p.

TORRES, P. et al. Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 55-62, 1997.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3051 A**: microwave assisted acid digestion of sediment, sledges, soils, and oils. Washington, 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

WALLS, J. S. Protecting groundwater from landfill leachate. **Water Sewage Works**, Hamilton, v. 122, p. 68, 1975.

ZANONI, A. E. Ground water pollution and sanitary landfills: a critical review. **Ground Water**, Westerville, v. 10, n. 3, p. 13, 1972.

ZANTA, V. M. et al. *Resíduos sólidos, saúde e meio ambiente: impactos*. In: CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Coord.). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

ANEXO

ANEXO A

Tabela 1A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes – Ponto 1 (montante da ADRSU)

Valores Característicos						
Pl	Unid	média	mín	máx	S*	VR*
pH	-	6,25	5,95	7,11	0,36	6 a 9
temp água	°C	20,82	17,50	22,80	2,31	-
temp ar	°C	28,09	18,90	31,20	3,62	-
condutividade	$\mu\text{s.cm}^{-1}$	32,77	22,60	44,80	8,51	-
turbidez	UNT	17,49	3,33	46,60	13,48	100
OD	mg/L O ₂	7,81	5,30	10,20	1,49	>5
STD	mg/L	20,23	14,46	28,67	4,83	500
DBO	mg/L	0,92	0,45	1,75	0,43	5
DQO	mg/L	19,93	5,60	51,75	16,39	-
Relação DQO/DBO		21,66				
cloreto	mg/L	16,60	12	21	2,95	-
ST	mg/L	90,33	25	215	65,20	-
SV	mg/L	52,34	3,33	196,67	54,78	-
SF	mg/L	38,00	0	158,33	56,04	-
Coliformes totais	NMP/100mL	71400	0	$2,5 \cdot 10^5$	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10442,6**	0	$2,5 \cdot 10^5$	-	1000
SS	mg/L	24,72	0	83,30	26,43	100
cor	Pt/L	64,90	4	170,00	60,96	75
Amônia	mg/L	5,42	0,85	9,52	3,47	-
Nitrato	mg/L	1,87	0,60	4	1,01	10
Fósforo	mg/L	2,83	1,20	8,80	2,16	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 2A20 Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes – Ponto 2 (após ponto de drenagem da ADRSU)

P2	Unid.	Valores Característicos				
		média	mín	máx	S*	VR*
pH	-	6,11	5,47	6,90	0,43	6 a 9
temp água	°C	22,43	17,40	26,60	3,61	-
temp ar	°C	25,62	22,20	28,10	2,68	-
condutividade	µs.cm ⁻¹	33,00	22,30	55,40	9,63	-
turbidez	UNT	13,07	5,26	19,90	5,44	100
OD	mg/L O ₂	7,55	6,10	10	1,21	>5
STD	mg/L	20,12	14,27	29,50	4,61	500
DBO	mg/L	1,10	0,30	2,89	0,85	5
DQO	mg/L	14,06	0,88	28,80	7,90	-
Relação DQO/DBO		12,78				
cloreto	mg/L	19,50	13	36	6,45	-
ST	mg/L	63,34	5	170	45,51	-
SV	mg/L	47,00	5	130	36,97	-
SF	mg/L	40,51	0	116,70	41,57	-
Coliformes totais	NMP/100mL	81100	1,1. 10 ⁴	2,5. 10 ⁴	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	29641,04**	1,1. 10⁴	9,5.10⁴	-	1000
SS	mg/L	28,04	6,70	67,40	18,98	100
cor	Pt/L	79,00	12	167,00	56,46	75
Amônia	mg/L	7,05	2,80	11,50	2,80	-
Nitrato	mg/L	1,93	0,85	4,50	1,23	10
Fósforo	mg/L	1,82	0,90	2,82	0,63	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 3A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão Mutuca em Elói Mendes – Ponto 3(jusante da ADRSU)

Valores Característicos						
P3	Unidade	média	mín	máx	S*	VR*
pH	-	5,96	5,12	6,82	0,51	6 a 9
temp água	°C	22,04	17,50	27,30	3,52	-
temp ar	°C	25,53	19,50	29,40	3,70	-
condutividade	µs.cm ⁻¹	24,43	17,30	37,10	6,03	-
turbidez	UNT	18,22	6,80	31,10	8,10	100
OD	mg/L O ₂	6,47	3,00	8,90	1,93	>5
STD	mg/L	16,28	12,48	19,80	2,44	500
DBO	mg/L	1,16	0	2,45	0,84	5
DQO	mg/L	11,68	0,88	38,04	11,72	-
Relação DQO/DBO		10,06				
cloreto	mg/L	18,20	14	25,00	3,26	-
ST	mg/L	79,50	11,70	210,00	63,02	-
SV	mg/L	51,50	1,67	161,70	49,04	-
SF	mg/L	28,00	0	80,00	32,95	-
Coliformes totais	NMP/100mL	43300	0,4.10 ⁴	1,5.10⁵	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2691,22**	0	4,5.10⁴	-	1000
SS	mg/L	25,54	1,70	70	25,58	100
cor	Pt/L	98,70	5	194,00	74,78	75
Amônia	mg/L	7,60	3,92	12,90	3,18	-
Nitrato	mg/L	3,80	0,85	8,40	2,98	10
Fósforo	mg/L	2,10	0,70	3,40	0,80	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 4A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Córrego dos Varões em Campo Belo – Ponto 1 (montante da ADRSU)

Valores Característicos						
P1	Unid.	média	Mín,	Max,	S*	VR*
pH	-	6,43	5,51	6,73	0,38	6 a 9
temp água	°C	22,27	16,30	25,80	3,88	-
temp ar	°C	24,51	17,10	27,20	2,84	-
condutividade	$\mu\text{s.cm}^{-1}$	58,68	32,00	74,50	14,41	-
turbidez	UNT	37,49	11,74	66,80	17,88	100
OD	mg/L O ₂	7,89	6,70	9,60	0,95	>5
STD	mg/L	37,55	20,48	47,68	9,23	500
DBO	mg/L	2,03	0,15	6,35	1,88	5
DQO	mg/L	15,48	5,26	35,46	9,89	-
Relação DQO/DBO		7,63				
cloreto	mg/L	18,40	12	26	4,30	-
ST	mg/L	85,99	16,70	213,30	64,98	-
SV	mg/L	53,82	3,30	123,30	37,50	-
SF	mg/L	32,15	0	140	45,14	-
Coliformes totais	NMP/100mL	370100	0	$2,5 \cdot 10^6$	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	419,83**	0	$2,5 \cdot 10^6$	-	1000
SS	mg/L	11,47	0	25	10,18	100
cor	Pt/L	158,60	48	292,00	75,55	75
Amônia	mg/L	4,76	0,43	9,65	3,73	-
Nitrato	mg/L	1,96	0	5	1,91	10
Fósforo	mg/L	1,42	0,45	6,54	1,82	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 5A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Córrego dos Varões em Campo Belo – Ponto 2 (após ponto de drenagem da ADRSU)

P2	Unid.	Valores Característicos				
		média	Mín.	Max.	S*	VR*
pH	-	6,34	5,73	6,70	0,30	6 a 9
temp água	°C	21,99	16,10	25,10	3,69	-
temp ar	°C	23,26	16,70	27,20	3,61	-
condutividade	µs.cm ⁻¹	59,82	31	81,30	12,46	-
turbidez	UNT	112,60	7,45	380	123,45	100
OD	mg/L O ₂	8,23	6,80	10,30	1,15	>5
STD	mg/L	42,71	19,84	83	16,25	500
DBO	mg/L	1,94	0,15	5,85	1,69	5
DQO	mg/L	16,14	2,63	45,31	12,89	-
Relação DQO/DBO		8,32				
cloreto	mg/L	18,30	12,00	26,00	5,12	-
ST	mg/L	109,91	28,30	318,30	83,12	-
SV	mg/L	70,32	0,70	126,70	40,83	-
SF	mg/L	39,59	0	230	71,53	-
Coliformes totais	NMP/100mL	233900	0	1,1.10 ⁶	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1217,02**	0	1,1.10⁶	-	1000
SS	mg/L	24,57	0	83,00	23,69	100
cor	Pt/L	227,50	40	380,00	93,34	75
Amônia	mg/L	4,87	1,05	7,84	2,21	-
Nitrato	mg/L	1,98	0	3,50	1,40	10
Fósforo	mg/L	1,11	0,68	1,80	0,36	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 6A21 Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Córrego dos Varões em Campo Belo – Ponto 3(jusante da ADRSU)

P3	Unid.	Valores Característicos					VR*
		média	Mín.	Max.	S*		
pH	-	6,33	5,76	6,84	0,34	6 a 9	
temp água	°C	22,06	15,80	25,30	3,66	-	
temp ar	°C	24,96	21,10	27,80	1,80	-	
condutividade	µs.cm ⁻¹	58,77	32,00	73,70	10,61	-	
turbidez	UNT	36,36	8,79	72,10	20,77	100	
OD	mg/L O ₂	7,56	6,10	8,80	0,90	>5	
STD	mg/L	39,92	20,48	62	10,30	500	
DBO	mg/L	2,29	0,00	4,40	1,46	5	
DQO	mg/L	19,11	1,77	70,00	19,08	-	
Relação DQO/DBO		8,72					
cloreto	mg/L	19,40	10,00	42,00	9,25	-	
ST	mg/L	113,30	13,30	423,30	118,09	-	
SV	mg/L	65,00	10,00	136,70	45,97	-	
SF	mg/L	48,30	0	355	109,54	-	
Coliformes totais	NMP/100mL	53800	0	4,5.10 ⁴	-	-	
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	63,84**	0	2,5.10⁵	-	1000	
SS	mg/L	20,70	0	65,00	21,43	100	
cor	Pt/L	177,10	20	406,00	130,70	75	
Amônia	mg/L	4,90	0,70	8,96	2,26	-	
Nitrato	mg/L	1,71	0,20	3,60	1,10	10	
Fósforo	mg/L	0,94	0,70	1,35	0,17	0,05	

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 7A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo – Ponto 1 (montante da ADRSU)

Valores Característicos						
P1	Unid.	média	Mín.	Max.	S*	VR*
pH	-	6,32	5,57	7,01	0,43	6 a 9
temp água	°C	22,33	17,60	27,50	4,25	-
temp ar	°C	24,62	16,20	28,60	3,81	-
condutividade	$\mu\text{s.cm}^{-1}$	48,04	38,10	58,60	6,95	-
turbidez	UNT	12,68	6,95	19,00	4,94	100
OD	mg/L O ₂	7,88	7	10,50	1,49	>5
STD	mg/L	27,60	20,20	37,50	6,26	500
DBO	mg/L	0,47	0,00	1,08	0,35	5
DQO	mg/L	20,11	0,88	50	16,64	-
Relação DQO/DBO		42,78				
cloreto	mg/L	18,90	15	26	3,35	-
ST	mg/L	74,90	20	121,70	31,78	-
SV	mg/L	57,68	1,70	110	37,42	-
SF	mg/L	17,22	0	85	26,11	-
Coliformes totais	NMP/100mL	19800	0	$9,5 \cdot 10^4$	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	54,65**	0	$9,5 \cdot 10^4$	-	1000
SS	mg/L	18,53	0	63,10	19,87	100
cor	Pt/L	28,40	5,00	60	19,05	75
Amônia	mg/L	7,82	4,20	12,88	2,68	-
Nitrato	mg/L	3,34	0,80	6,50	1,48	10
Fósforo	mg/L	0,60	0	1,45	0,36	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 8A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo – Ponto 2 (montante da ADRSU)

Valores Característicos						
P2	Unid.	média	Mín.	Max.	S*	VR*
pH	-	6,41	5,71	7,56	0,55	6 a 9
temp água	°C	21,53	17,60	26	3,52	-
temp ar	°C	23,64	16,20	27,20	3,61	-
condutividade	$\mu\text{s.cm}^{-1}$	50,69	40,30	82,60	12,04	-
turbidez	UNT	10,62	6,33	15,50	3,15	100
OD	mg/L O ₂	7,99	6,7	10,50	1,67	>5
STD	mg/L	30,03	22,50	52,86	9,09	500
DBO	mg/L	0,66	0	2,27	0,82	5
DQO	mg/L	8,48	0,88	25	6,38	-
Relação DQO/DBO		12,85				
cloreto	mg/L	19,40	15	28	5,02	-
ST	mg/L	65,00	20	103,30	26,77	-
SV	mg/L	46,83	0	88,30	31,12	-
SF	mg/L	18,17	0	65	26,56	-
Coliformes totais	NMP/100mL	25400	0	$9,5.10^4$	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	774,81**	0	$9,5.10^4$	-	1000
SS	mg/L	17,54	0	48,20	17,16	100
cor	Pt/L	33,40	2,00	86,00	27,75	75
Amônia	mg/L	7,05	2,80	11,50	2,80	-
Nitrato	mg/L	4,01	0,75	7,01	1,98	10
Fósforo	mg/L	1,48	0,00	6,12	1,79	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 9A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo– Ponto 3 (após ponto de drenagem da ADRSU)

Valores Característicos						
P3	Unid.	média	Mín.	Max.	S*	VR*
pH	-	6,29	5,53	6,91	0,42	6 a 9
temp água	°C	22,72	17,40	26,80	3,60	-
temp ar	°C	26,04	15,00	34,10	4,95	-
condutividade	µs.cm ⁻¹	57,30	43,20	92,60	14,30	-
turbidez	UNT	13,10	8,31	20,10	4,14	100
OD	mg/L O ₂	7,44	6,6	9,80	1,25	>5
STD	mg/L	33,11	24,30	59,26	10,47	500
DBO	mg/L	0,81	0,23	2,27	0,72	5
DQO	mg/L	5,43	0,25	10,16	3,35	-
Relação DQO/DBO		6,7				
cloreto	mg/L	18,60	12	31	5,97	-
ST	mg/L	80,50	25	151,70	34,90	-
SV	mg/L	61,41	0	151,70	41,91	-
SF	mg/L	19,09	0	78,40	26,31	-
Coliformes totais	NMP/100mL	1131400	0	1,1.10 ⁷	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	205,6**	0	2,5. 10⁵	-	1000
SS	mg/L	13,61	0	40,40	14,43	100
cor	Pt/L	34,80	7	90	28,00	75
Amônia	mg/L	7,69	5,04	13,50	2,83	-
Nitrato	mg/L	4,19	2,20	6	1,48	10
Fósforo	mg/L	0,57	0	1,20	0,42	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência

Tabela 10A Síntese da estatística descritiva de indicadores de qualidade da água do Ribeirão do Amparo em Santo Antônio do Amparo– Ponto 4 (jusante da ADRSU)

Valores Característicos						
P4	Unid	média	Mín.	Max.	S*	VR*
pH	-	6,35	5,63	6,85	0,40	6 a 9
temp água	°C	21,96	14,90	26,80	3,93	-
temp ar	°C	25,41	16,80	32,30	3,98	-
condutividade	µs.cm ⁻¹	56,88	44,80	70,10	8,01	-
turbidez	UNT	44,78	11,81	245,00	70,90	100
OD	mg/L O ₂	8,59	7	12,30	1,95	>5
STD	mg/L	32,67	23,80	44,86	7,32	500
DBO	mg/L	1,19	0,11	3,51	1,10	5
DQO	mg/L	23,58	2,35	71,66	23,40	-
Relação DQO/DBO		19,81				
cloreto	mg/L	18,40	13	30	5,32	-
ST	mg/L	86,85	40	170	41,18	-
SV	mg/L	63,00	3,30	168,30	44,51	-
SF	mg/L	23,85	0	100	34,58	-
Coliformes totais	NMP/100mL	154900	0	1,1.10 ⁶	-	-
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1487,84**	0	4,5.10⁵	-	1000
SS	mg/L	23,33	2,50	75	23,70	100
cor	Pt/L	46,80	1	120	40,70	75
Amônia	mg/L	7,76	4,48	12,07	2,15	-
Nitrato	mg/L	3,61	1,80	6,20	1,38	10
Fósforo	mg/L	0,59	0	1,75	0,49	0,05

*S – desvio padrão

* VR – Valor de referência DN COPAM CER 01/2008

** média geométrica

Valores em negrito superam o valor de referência